

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА БИОЛОГИИ

**БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В
ОКРЕСТНОСТЯХ Г. БЕЛГОРОДА**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 06.04.01 Биология
очной формы обучения, группы 07001642
Шаповаловой Снежаны Владимировны

Научный руководитель
к.б.н., доцент
Воробьева О.В.

Рецензент
доцент кафедры
промэкологии БГТУ им. В.Г.
Шухова, канд. биол. наук,
доцент
Василенко Н.И.

БЕЛГОРОД 2018

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Обзор литературы по теме исследования.....	6
1.1. Биоиндикация как метод оценки загрязнения окружающей среды.....	6
1.2. Характеристика березы повислой как объекта биоиндикации.....	14
Глава 2. Эколого-географическая характеристика района исследования.....	18
2.1. Общее описание территории исследования.....	18
2.2. Геологическое строение и рельеф района исследования.....	19
2.3. Климатические условия.....	20
2.4. Гидрогеография территории исследования.....	22
2.5. Лесные и растительные ресурсы.....	24
Глава 3. Материал и методы исследования.....	27
Глава 4. Полученные результаты и их обсуждение.....	35
Выводы.....	62
Список использованных источников.....	63
Приложения.....	70

Введение

В соответствии с природоохранительным законодательством Российской Федерации, оценка качества окружающей природной среды производится с целью установления предельно допустимых норм воздействия, гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранение генофонда и обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности [Афанасьев, 2001]. При этом под воздействиями вообще понимается антропогенная деятельность, связанная с реализацией экономических, рекреационных, культурных интересов и вносящая физические, химические и биологические изменения в природную среду.

Методами биоиндикации определяется наличие в окружающей среде загрязнителя по состоянию определенных организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки. Первые схемы растений-индикаторов горных пород были представлены в конце XIX в. А. П. Карпинским [Грудева, 2015].

Биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. В полной мере это относится ко всем видам антропогенных загрязнений [Ляшенко, 2012].

Методы биоиндикации основаны на наблюдениях отдельных организмов, популяции или сообществ организмов в естественной среде обитания с целью определения по их реакциям (изменениям) качества окружающей среды [Кондакова, 2017].

Основной задачей биоиндикации является разработка методов и критериев, которые могли бы адекватно отражать уровень антропогенных воздействий с учетом комплексного характера загрязнения и диагностировать ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах биотических

сообществ. Организмы и сообщества организмов, жизненные функции которых тесно коррелируют с определенными факторами среды и могут применяться для их оценки, называются биоиндикаторами.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что в этом районе проводилось недостаточно исследований. Не каждое предприятие добросовестно выполняет все требования охраны окружающей среды. Качество здоровья среды позволит определить данная в этой работе методика. В результате работы будет выявлена степень загрязнения района города, где находится большое количество предприятий.

Целью данной работы является изучение состояния атмосферного воздуха в окрестностях г. Белгорода.

Цель работы предопределила круг задач, которые необходимо решить для её достижения:

- 1) изучить особенности формирования антропогенной нагрузки в районе исследования;
- 2) провести экспериментальные замеры параметров на выбранных площадках с использованием биоиндикационного метода оценки качества окружающей среды по флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой;
- 3) дать оценку состояния экологического состояния окружающей среды в районе исследования.

Объектом исследования является листовая пластинка березы повислой (*Betula pendula* Roth).

Предметом исследования – экологическое состояние окрестностей г. Белгорода.

Новизна работы в том, что результаты дают определенную характеристику состояния среды данной территории и возможность для дальнейшего, более обширного изучения.

Методы исследования – изучение специальной литературы по теме исследования, теоретический анализ, синтез, обобщение, систематизация данных, статистическая обработка данных, полевые методы исследования.

Практическая значимость исследования заключается в том, что применение изложенного материала может быть использовано в мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды.

Выпускная квалификационная работа изложена на 115 страницах. Она состоит из оглавления, введения, четырех основных разделов, выводов. Список использованных источников насчитывает 70 наименований. В работе используются 12 таблиц, 21 рисунка и приложения.

Глава 1. Обзор литературы по теме исследования

1.1. Биоиндикация как метод оценки загрязнения окружающей среды

Биоиндикация представляет собой метод определения степени загрязнения природной среды с помощью живых организмов (или природных сообществ). Индикация экологических условий проводится на основе оценки изменения как видового разнообразия организмов той или иной местности, так и их химического состава, который отражает присущую им способность накапливать элементы и соединения, поступающие из окружающей среды [Афанасьев и др., 2001; Туровцев, Краснов, 2005; Гончарова, 2011]. Например, оценка состояния окружающей среды по изменению количества видов связана с тем, что наиболее чувствительные к тем или иным загрязняющим веществам виды растений и животных исчезают из биоценоза (майский жук, лишайники в промышленных центрах) либо, наоборот, увеличивают свою численность (сине-зеленые водоросли, при поступлении в водоемы загрязняющих веществ с сельскохозяйственных угодий) [Крупская и др., 2007; Чеснокова, Чугай, 2008].

Функции индикатора выполняет тот вид, который имеет узкую амплитуду экологической толерантности по отношению к какому-либо фактору [Ветчинников, Дабахов, 2015]. Большой частью индикаторами являются растения – организмы, не способные к активному перемещению. Если в лесу на стволах деревьев обильны лишайники, значит в воздухе почти нет вредных примесей, особенно сернистого газа. При наличии сернистого газа лишайники исчезают [Верхоглядова, Чидигова, 2017]. Некоторые растения довольно широко используются в качестве индикаторов. Когда сосна или можжевельник, к примеру, растут над залежами урановой руды, в их хвое содержится значительно больше урана, чем обычно [Грудева, Тинникова, 2015]. Виды астрагалов являются индикаторами селена, а некоторые крестоцветные – серы

[Мусатова и др., 2009]. В роли индикатора может выступить весь фитоценоз, так как особенности климата, почв, химизм среды, влажность влияют на видовой состав растительности. Иными словами, по флористическому составу можно установить качество почв и их физико-химические свойства, характер местных климатических условий, наличие в среде тех или иных химических элементов, влияние биотических факторов и различных форм деятельности человека на природу [Кондакова и др., 2017]. Изучение комплекса сапробных организмов позволяет определять степень загрязнения воды. Только в чистой воде встречаются некоторые мхи, личинки ручейников. А вот серные бактерии, личинки хирономид обитают лишь в сильно загрязненных водоемах. В слабозагрязненных водах живут многие насекомые, зеленые одноклеточные водоросли, ракообразные. видовое разнообразие и высокая численность или, наоборот, отсутствие стрекоз на берегу водоема говорят о его фаунистическом составе: много стрекоз – фауна богата, мало – водная фауна обеднена [Горбунова, 2017]. Биологическая индикация дает возможность судить не только о состоянии среды в данный отрезок времени, но и следить за ее изменениями, предвидеть и прогнозировать направление этих изменений и своевременно предотвращать вредные последствия тех или иных действий человека. Биоиндикация является составной частью экологического мониторинга [Шабалдас, 2008]. Представляется необходимость отметить, что помимо биоиндикаторов существуют ландшафтные индикаторы (рельеф, поверхностные воды, снег и лед, торф, почва и др.), позволяющие определять степень загрязнения внешней среды различными антропогенными токсикантами. Основное требование, предъявляемое к природным индикаторам, – способность отражать (фиксировать) воздействие и сохранять его. Ландшафтная индикация позволяет определять степень воздействия промышленных объектов на окружающую среду и давать рекомендации по их

расположению с учетом типа природных зон [Обуховский, 2008; Алахвердиев, Набиев, 2016].

Итак, представленные способы и примеры их применения показывают его полезность для экологического мониторинга, например – в природоохранной, сельскохозяйственной, рекреационной деятельности. Применение предлагаемых способов способствует выявлению губительных антропогенных воздействий на ранних стадиях, позволяет своевременно и качественно принимать решения по улучшению состояния водоемов, воздуха, почвы с наименьшим ущербом для окружающей среды [Белюченко и др., 2014].

Составной частью экологического мониторинга является биологический мониторинг, т. е. система наблюдений, оценки и прогноза любых изменений в биоте, вызванных антропогенными факторами. Задача такого мониторинга – обнаружение, идентификация и определение концентраций загрязняющих веществ в биоте с использованием индикаторных организмов [Вайнер, 1988]. Химические и физико-химические методы анализа не в состоянии охватить все многообразие загрязняющих веществ, которые претерпевают в окружающей среде сложные трансформации, образуя подчас более токсичные соединения. Поэтому необходимы методы интегральной оценки качества среды, такие как биотестирование и биоиндикация [Багдай и др., 2016; Мелехова и др., 2008].

Биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. В полной мере это относится ко всем видам антропогенных загрязнений [Тарасов, 2000]. Основной задачей биоиндикации является разработка методов и критериев, которые могли бы адекватно отражать уровень антропогенных воздействий с учетом комплексного характера загрязнения и диагностировать ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах биотических сообществ [Шадманова, Чуйков, 2012]. Организмы и сообщества организмов, жизненные функции которых тесно коррелируют с определенными факторами среды и могут

применяться для их оценки, называются биоиндикаторами. Под биотестированием обычно понимают процедуру установления токсичности среды с помощью тест-объектов специально отобранных и выращиваемых живых организмов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения их жизненно важных функций [Бухарин и др., 1998].

Биоиндикация – очень близкий к биотестированию прием, использующий организмы, обитающие в исследуемой среде, присутствие, количество или особенности развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания [Мелехова и др., 2007].

Условия, определяемые с помощью биоиндикаторов, называются объектами биоиндикации. Ими могут быть типы природных объектов (почва, вода, воздух), различные свойства этих объектов (механический, химический состав и др.) и определенные процессы (эрозия, дефляция, заболачивание и т.п.) происходящие, в том числе под влиянием человека [Калыгин, 2004].

При выборе биоиндикаторов один из экологов, Л. В. Жорняк, предлагает учитывать следующие критерии:

- 1) стенотопные виды (приспособленные к существованию в строго определенных условиях), более редкие виды, как правило, являются лучшими индикаторами, чем эвритопные (широко распространенные, обладающие широким диапазоном экологической выносливости);
- 2) более крупные виды являются обычно лучшими индикаторами, чем мелкие, так как скорость оборота последних в биоценозах выше, и они могут не попасть в пробу в момент исследований;
- 3) при выделении вида (группы видов), используемого в качестве индикатора воздействия того или иного фактора, необходимо иметь полевые и экспериментальные сведения о лимитирующих значениях данного фактора с учетом возможных реакций организма;

4) численное соотношение разных видов (популяций или сообществ) более показательно и является более надежным индикатором, чем численность одного вида [Батлуцкая, 2007].

Биоиндикационные исследования подразделяются на два уровня: видовой и биоценотический. Видовой уровень включает в себя констатацию присутствия организма, а биоценотический учитываются различные показатели разнообразия видов, продуктивность данного сообщества. По современным представлениям биоиндикаторы-организмы, присутствие, количество или особенности, развития которых служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания. Биоиндикация – метод, который позволяет судить о состоянии окружающей среды по факту встречи, отсутствия, особенностям организмов-биоиндикаторов [Сагадатова, 2008].

Условия, определяемые с помощью биоиндикаторов, называются объектами биоиндикации. Существуют различные виды биоиндикации. Если одна и та же реакция вызывается различными факторами, то говорят о неспецифической биоиндикации. Если же те или иные происходящие изменения можно связать только с одним фактором, то речь идет о специфической биоиндикации. Например, лишайники и хвойные деревья могут характеризовать чистоту воздуха и наличие промышленных загрязнений в местах их произрастания [Гуртяк, Углев, 2010]. Видовой состав животных и низших растений, обитающих в почве, является специфическим для различных почвенных комплексов [Рассадина, 2007; Жукова, Мاستицкий, 2014].

В зависимости от того какие организмы выступают в качестве индикаторов выделяют следующие виды биоиндикации:

- бриоиндикация – использование лишайников в качестве биоиндикаторов;
- фитоиндикация – это обнаружение и определение экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакции на них растений;

- лишеноиндикация – использование лишайников в качестве биоиндикаторов степени загрязнения атмосферного воздуха, основанное на изучении состава и биологических особенностей лишенофлоры;
- дендроиндикация – использование древесных растений для оценки состояния и изменений окружающей среды под воздействием экологических факторов [Еремеева и др., 2015].

Среди биоиндикационных методов исследования природных процессов и антропогенных воздействий дендроиндикация занимает особое место, т. к. позволяет решать многие разноплановые и междисциплинарные задачи: от оценки воздействия выбросов конкретного предприятия на ближайший лесной массив до влияния гелиофизических и астрофизических факторов на лесные экологические системы. Также биоиндикаторы могут быть прямыми и косвенными (соответственно биоиндикация – прямая и косвенная). Прямой биоиндикатор – это организм или их сообщество напрямую, непосредственно реагирующие на факторы среды (серебристые пятна на листьях табака возникают от прямого действия озона; дехромация листвы вследствие воздействия SO_2) [Мелехова, Егорова, 2007; Shaw et al, 2004].

У косвенных биоиндикаторов реакция на факторы среды возникает через систему опосредованных взаимосвязанных реакций и напрямую не связана со стрессовым воздействием. Положительные биоиндикаторы характеризуются увеличением реакции (количественных характеристик) при нарастании стресса. Так, например, положительным индикатором содержания токсичных газов в воздухе является увеличение концентрации поллютантов в биомассе. Нарастание рекреационной нагрузки на экосистему индицируется увеличением обилия рудеральных видов растений: одуванчика *Taraxacum officinale*, сурепки *Barabareavulgaris*, лапчатки гусиной *Potentillaanserina* и другие [Боголюбов, 2001]. Примером отрицательных индикаторов на загрязнение атмосферного воздуха являются уменьшение видового разнообразия, численности эпифитных

лишайников и образование так называемой лишайниковой пустыни в условиях постоянного высокого уровня выбросов токсичных газов. В зависимости от реакции биоиндикатора на определенный стрессорный фактор выделяют специфические и неспецифические биоиндикаторы. Специфические биоиндикаторы на определенный тип воздействия реагируют определенным типом реакции. Например, серебристые пятна на листьях табака возникают от прямого действия озона [Опекунова, 2016].

Биоиндикаторы, способные одинаково реагировать на изменение различных факторов среды относят к неспецифическим. В таком случае говорят о неспецифической индикации. Например, снижение численности почвенных беспозвоночных может происходить и при различных видах загрязнения почвы, и при вытаптывании, и в период засухи и по другим причинам. Если при биоиндикационных исследованиях используется один (частный) параметр, то говорят о частном биоиндикаторе. В том случае, когда применяется система биоиндикационных признаков, говорят о комплексном биоиндикаторе [Белякова, 2006]. Выделяют также чувствительные и аккумулятивные биоиндикаторы.

Чувствительный – быстро реагирует значительным отклонением показателей от нормы. Например, отклонения в поведении животных, в физиологических реакциях клеток могут быть обнаружены практически сразу после начала действия нарушающего фактора [Менделеев, 2006; Якунина, 2009].

Аккумулятивный – накапливает воздействия без проявляющихся нарушений. Например, лес на начальных этапах его загрязнения будет прежним по своим основным характеристикам. Лишь по прошествии какого-то времени начнут общая численность организмов и т.д. [Кузнецов и др., 2010; Балакирев и др., 2013].

Наиболее важными сферами применения биоиндикации могут быть следующие:

- выявление естественного буферного потенциала агроценоза и допустимых нагрузок экзогенных веществ при различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур;
- контроль за состоянием фитопопуляции с целью ранней диагностики и предотвращения отрицательных последствий поллютантов, которые могут повлиять на структуру и функции биоты, продуктивность агроценоза, а также на здоровье человека;
- комплексная система экологического мониторинга агросферы, включая обнаружение негативных изменений, их диагностику на самой ранней стадии антропогенного воздействия.
- сохранение биоразнообразия агроландшафта, позволяющее обеспечить существование как можно большего числа организмов, в особенности редких видов биоты, высокочувствительных к загрязнению [Белякова 2006].

В зависимости от скорости проявления биоиндикаторных реакций выделяют несколько различных типов чувствительности тест-организмов:

- I тип – биоиндикатор проявляет внезапную и сильную реакцию, продолжающуюся некоторое время, после чего перестает реагировать на загрязнитель;
- II тип – биоиндикатор в течении длительного времени линейно реагирует на воздействие возрастающей концентрации загрязнителя;
- III тип – после немедленной, сильной реакции у биоиндикатора наблюдается ее затухание, сначала резкое, затем постепенное;
- IV тип – под влиянием загрязнителя реакция биоиндикатора постепенно становится все более интенсивной, однако достигнув максимума постепенно затухает;

V тип – реакция и типы неоднократно повторяются, возникает осцилляция биоиндикаторных параметров [Шуберт, 1988].

Основные подходы биотестирования. «Подходами» можно условно назвать группы методов, характеризующих сходные процессы, происходящие с тест-объектами под влиянием антропогенных факторов. Основные подходы: биохимический подход, генетический подход, морфологический подход, физиологический подход, биофизический подход, иммунологический подход [Смирнова, 1978].

Таким образом, биоиндикация – это определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. Основной задачей биоиндикации является разработка методов и критериев, которые могли бы адекватно отражать уровень антропогенных воздействий с учетом комплексного характера загрязнения и диагностировать ранние нарушения в наиболее чувствительных компонентах биотических сообществ [Блази, 2010].

1.2. Характеристика березы повислой как объекта биоиндикации

По состоянию видов-эдификаторов природного сообщества, от которых зависит его дальнейшее существование, определяется устойчивость экосистемы. Такими объектами для оценки состояния городских и поселковых экосистем являются древесные растения. Наиболее чувствительные к исследуемым факторам биологические системы или организмы выбирают в качестве биоиндикаторов [Чотуралиев, Ахматов, 2013].

По степени развития отдельных органов и структур, интенсивности протекания основных процессов, их жизненному состоянию можно судить о соответствии условий среды потребностям живых организмов. Большое внимание при диагностике состояния древесных растений уделяется

ассимиляционным органам, и в частности листе и хвое, поскольку они определяют рост и развитие всех других структур растительного организма [Павлов, 2005].

Величина флуктуирующей асимметрии билатеральных морфологических структур листа березы повислой (*B. pendula* Roth.) в настоящее время широко используется для оценки уровня загрязнения окружающей среды, в том числе и предприятиями минерально-сырьевого комплекса [Криволицкий, 1993].

В качестве объекта исследования была использована берёза повислая (*B. pendula* Roth.).

Родовое название – от кельтского «betu» – береза и латинского *pendulus* – повислый. Латинское наименование дерева *Betula*. В основе его лежит слово *batula*, от глагола *batuere*, переводимого как «бить» или «сечь» – напоминание о горькой судьбе не очень радивых школьников в прошлом, которым случалось отведывать «березовой каши». В европейских языках большинство названий березы идет от индоевропейского «bhe» – светлый, сверкающий. Береза повислая (*B. pendula* Roth.) – листопадное дерево семейства березовых, высотой до 30 м с гладкой, белой, легко расслаивающейся корой. У старых деревьев кора оснований стволов с глубокими трещинами, черно-серая. Ствол прямой, ветви обычно повислые; молодые побеги красно-бурые, голые, покрыты смолистыми железками – «бородавочками». Листья очередные, треугольно-яйцевидные до ромбических, по краям двоякоострозубчатые, тонкокожистые, гладкие, темно-зеленые, молодые – клейкие, длиной 3–7 см, шириной 2,5–5 см. Почти яйцевидно-конусовидные, длиной 3–5 мм и толщиной 2–5 мм, слегка заостренные, прямые, блестящие с восковым, обычно клейким налетом. Мужские сережки длиной 5–6 см, повисающие, по 2–3 на концах ветвей; женские сережки цилиндрические, длиной 2–3 см, одиночные, на коротких боковых веточках. Плод – продолговато-эллиптический орешек с двумя перепончатыми крыльями, в 2–3 раза превышающими ширину орешка. В

сережке содержится около 500 орешков. Цветет в мае - июне; плоды созревают в августе–сентябре. Живет 100–120 лет [Губанов, 1976].

Лучшим вегетативным органом для деревьев считается лист растения. В листьях, при антропогенных воздействиях, происходят морфологические изменения (уменьшение площади листовой пластины, появление асимметрии) [Гудзенко, 2016]. В городе и поселке хорошими биоиндикаторами являются листья березы повислой (*B. pendula* Roth.), деревья с высоким поглотительным качествами (рис. 1.1).

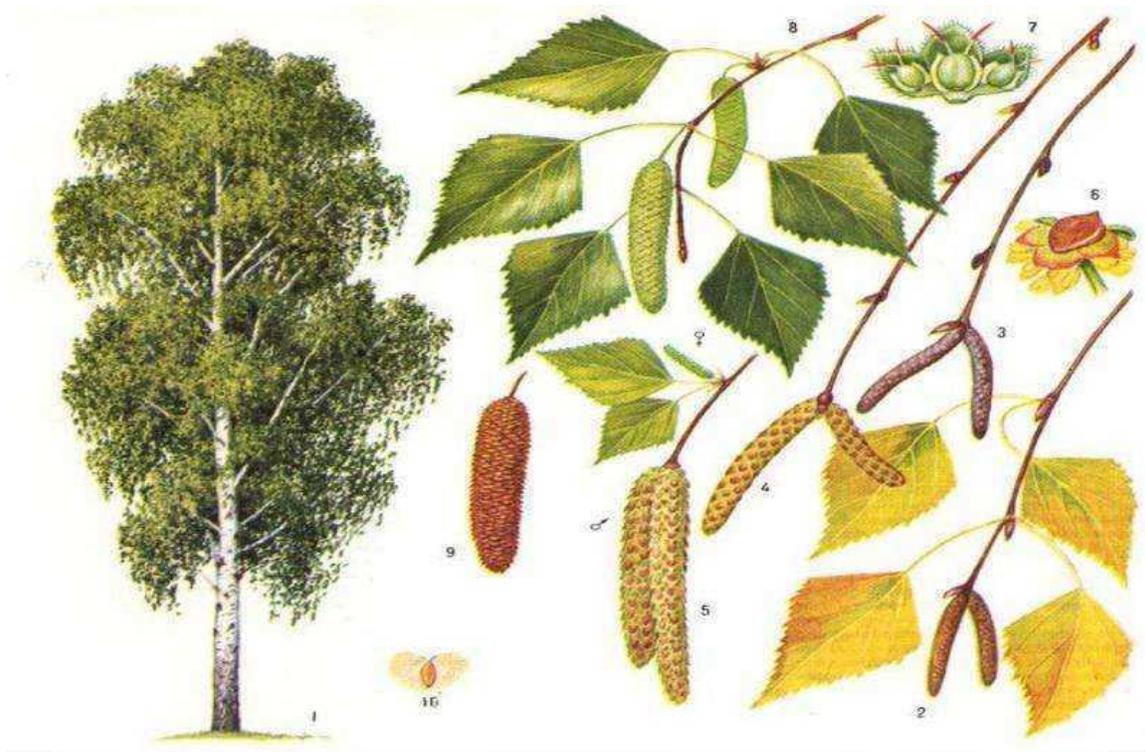


Рис. 1.1. Береза повислая (*B. pendula* Roth.)

1 – общий вид, 2 – осенняя ветвь с заложившимися листовыми и тычиночными почками, 3 – зимняя ветвь, 4 – весенняя ветвь с тронувшимися в рост листьями и тычиночными почками, 5 – ветвь с тычиночными и пестичными серёжками, 6 – мужской цветок, 7 – женский цветок, 8 – ветвь с плодовыми серёжками, 9 – зрелая плодовая серёжка, 10 – плод – крылатый орех

Береза повислая (*B. pendula* Roth.) произрастает на большей части территории страны. Наиболее обильна в Западной и Средней Сибири, а также в средней полосе европейской части страны. Береза повислая (*B. pendula* Roth.) образует производные леса, возникающие на месте вырубленных или сгоревших сосняков, ельников, лиственничников, дубняков [Снакина, 1995]. Она быстро заселяет освободившиеся территории и господствует на них, создавая лишь временные группировки; в дальнейшем вытесняется другими древесными породами. Коренные древостой образует лишь в лесостепных и степных областях, особенно в Западной Сибири (характерные для ландшафта лесостепной зоны березовые колки) [Якушина, 1990]. Часто встречается в разных типах леса в качестве примеси. Растет на сухих и влажных песчаных, суглинистых, черноземных и каменисто-щебнистых почвах; светолюбива. Выносит различные климатические условия, поэтому произрастает от тундры до степной зоны. Растет быстро, хорошо возобновляется порослью и самосевом. Легко поддается механической обработке [Дьяченко, 2003]. Очень неустойчива против гниения. Более всего сохраняется, если погрузить в воду. В производстве лыж, небольших резных игрушек, используется как фанерное сырьё. Из древесины получают древесный уголь, уксусную кислоту, метиловый спирт, скипидар. При сухой перегонке коры образуется дёготь, применяемый в медицине и парфюмерии. Благодаря высокой теплотворности ценится как хорошее топливо. Почки и листья применяют в народной и официальной медицине, они обладают мочегонным, желчегонным, потогонным, кровоочистительным, бактерицидным, противовоспалительным и ранозаживляющим действием. Листья выделяют фитонциды, способные убивать болезнетворные микроорганизмы уже через 3 часа [Губанов, 1976].

Глава 2. Эколого-географическая характеристика района исследования

2.1. Общее описание территории исследования

Объекты настоящего исследования были собраны на территории по адресу: улица Рабочая, дом 14 и координатами 50.566707 с. ш., 36.657273 в. д. Данная территория находится в Белгородской области, в Белгородском районе, в юго-восточной части города Белгорода и представляет собой промышленный район. Улица Рабочая относится к району Крейды, где сосредоточены 42 % всех промышленных предприятий Белгородской области. Район обладает развитым производством строительных материалов и пищевой промышленностью [Верзилина и др., 2007; Шибеева и др., 2013; Матвейшина, 2015].

По адресу: улица Рабочая, дом 14 находится большое количество предприятий, к которым относятся АО завод фармацевтических препаратов «Верофарм», ООО завод фармацевтических субстанций «Полисинтез», тепличный комплекс «Розы Белогорья», ЗАО завод «БелЮжкабель», ООО Белгородский завод полимерных материалов, ООО Завод «Энергоцветмет», строительные компании «ЛюксСтрой» и ООО «Русь», торгово-производственная компания ООО «Регион-стекло», производственная компания ЗАО «Петрохим», мебельная фабрика МАКС Интерьер и ряд других производств. Предприятия производственной зоны юго-восточного района города Белгород относятся к I, II, III, IV и V классу вредности, что оказывает негативное воздействие на экологическое состояние территории [Лисецкий и др., 2007]. К основным проявлениям тяжелых металлов является нарушение процессов роста и деления клеток [Ерофеева, 2010]. Установлено, что данный район относится к районам с нестабильной экологической ситуацией и высокой антропогенной нагрузкой [Дегтярь и др., 2016].

2.2. Геологическое строение и рельеф района исследования

Современный рельеф района исследования, как и рельеф Белгородского района и Белгородской области представляет собой результат длительных геологических процессов, которые происходили в течение длительного времени, около нескольких миллионов лет. Вначале территория, на которой находится сегодняшняя Белгородская область, представляла собой горные хребты. Рельеф изменился после выхода дна палеогенового моря и стал приобретать другие черты. Большое влияние на изменение рельефа оказало движение земной коры. Вдоль линий разломов земной коры образовалась современная речная сеть [Хрисанов, Колмыков, 2017]. Рельеф формировался и под действием четвертичного оледенения. Древний ледник оставил после себя долины, отложения, овраги. В современном мире на рельеф изменяют антропогенные факторы, например, хозяйственная деятельность человека [Хрисанов, Колмыков, 2017б].

Вышеописанные факторы сформировали рельеф территории исследования, которая на сегодня представляет собой приподнятую, слегка всхолмленную, волнистую равнину высотой над уровнем море 200 м, сильно расчлененную речными долинами и большим количеством оврагов. Данная равнина относится к местности Орловско-Курского плато Среднерусской возвышенности. Местность обладает волнисто-балочным или волнисто-увалистым характером [Еленевский и др., 2004].

Геологическое строение территории представляет собой фундамент из кристаллических пород времен докембрия, которые залегают на глубине 300-500 м ниже уровня моря, и толщиной осадочных пород. Толщи пород богаты известняком и песчано-глинистыми отложениями. Фундамент образуют древние мощные пласты осадочных пород мелового периода и четвертичной

системы. Наиболее распространены следующие породы: суглинки, глины, меловые отложения, пески, мел [Еленевский и др., 2004].

2.3. Климатические условия района исследования

Район исследования находится на территории с умеренно-континентальным типом климата, характеризуется жарким летом и сравнительно-холодной зимой [Лисецкий, 2005]. По данным метеостанции города Белгород среднегодовая температура воздуха составляет $+6,2^{\circ}\text{C}$. Самым холодным месяцем в году является январь, среднемесячная температура которого составляет $-8,1^{\circ}\text{C}$. При этом абсолютный температурный минимум равен -37°C . Самым теплым месяцем в году является июль. Средняя многолетняя температура июля составляет $19,9^{\circ}\text{C}$. При этом абсолютный температурный максимум определяется, как $+43^{\circ}\text{C}$. Месяцем, когда наблюдается наибольшее повышение температуры в году, является апрель, в котором температура повышается на $9-10^{\circ}\text{C}$ за месяц. Количество дней безморозного периода варьирует от 165 дней и более [Лисецкий, 2005].

Сезоны года выделяются четко. Весна в среднем начинается 22 марта и через 58 дней переходит в лето. Продолжительность летнего периода составляет 110 дней, когда среднесуточная температура выше 15°C . Осень длится 66 дней, когда температура снижается постепенно от 15 до 0°C . Самый длинный период в году – зима, продолжительность которой 131 день, зимой температурный режим воздуха ниже 0°C . Среднее количество дней с суховеями в году составляет 46 дней. Средние показатели относительной влажности воздуха – 76 %. Гидротермический коэффициент, который является основным показателем влагообеспеченности, составляет от 1,2 и более. Изменение направления ветра в отдельные сезоны в районе исследования можно проследить по данным метеорологической станции города Белгород. Осенью и зимой преобладают

западные и юго-западные ветры, весной – восточные ветры, а летом – западные и северо-западные ветры [Лисецкий, 2005].

Режим ветра в месте исследования отражен в розе ветров (рис. 2.1): в зимний период (январь), весенний период (апрель), летний период (июль) и осенний период (октябрь).

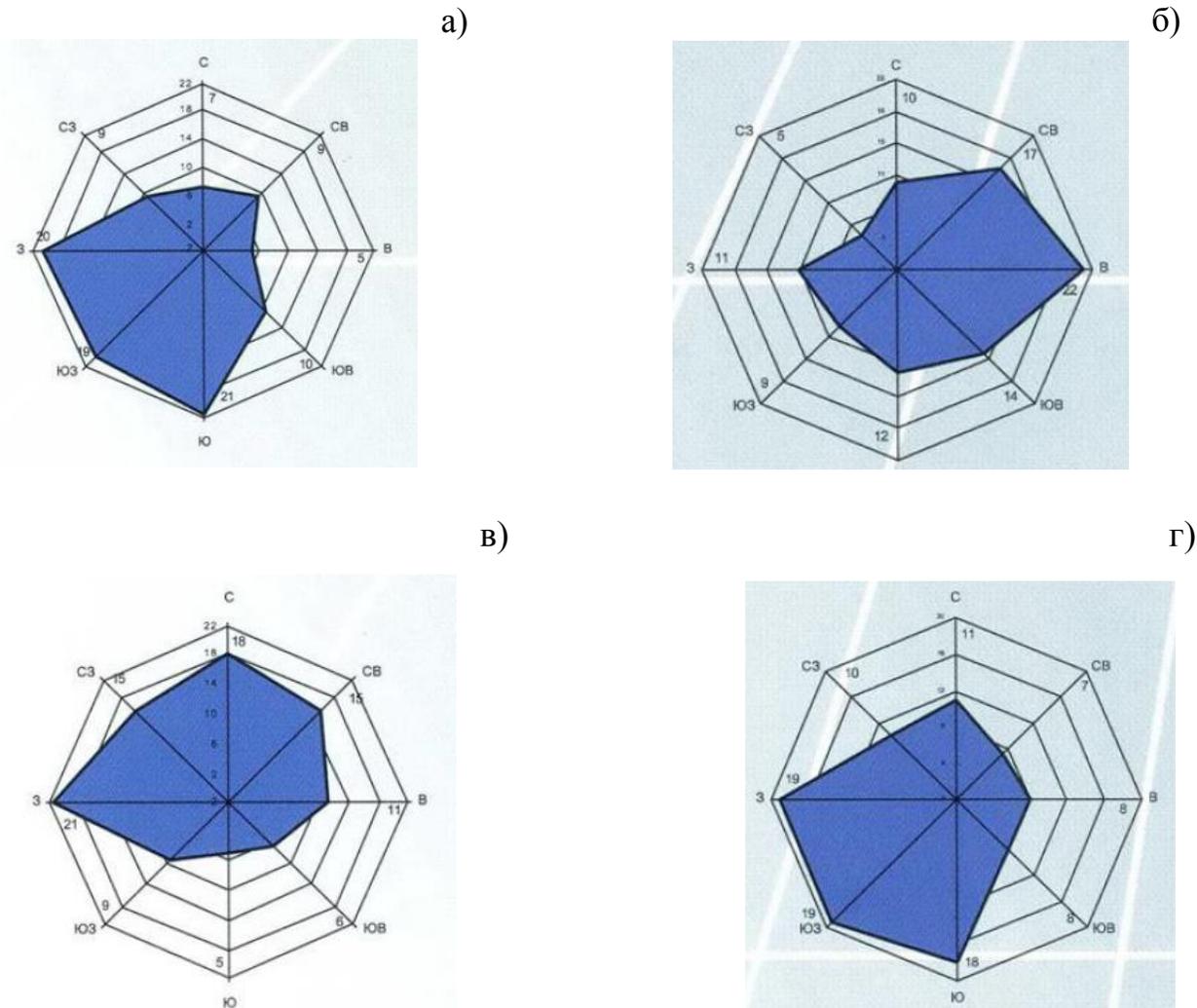


Рис. 2.1. Роза ветров территории исследования: а – в зимний период (январь), б – в весенний период (апрель), в – в летний период (июль), г – в осенний период

В течение года в большинстве случаев в зоне исследования отмечаются слабые ветра со скоростью около 3 м/с [Лисецкий, 2005]. Повторяемость скоростей ветра в районе исследования отражена в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Повторяемость скоростей ветра в районе исследования

Градации скорости ветра, м/с	Повторяемость, %
0 - 1	17,1
2 - 3	35,5
4 - 5	29,5
6 - 7	24,8
8 - 9	3,9
10 - 11	1,1
12 - 13	0,3
14 - 15	0,1
16 - 17	0,0
18 - 20	0,0

Среднегодовое количество осадков 475 мм. Максимальное количество осадков выпадает в феврале–марте. Годовая сумма испарения с поверхности почвы и снега составляет 408–564 мм. Осадки выпадают преимущественно в виде ливней.

Радиационный режим определяется через показатель солнечного сияния. Солнечное сияние в районе исследования составляет 1900–2000 часов в год, что является 40–42 % от величины при ясном небе. Зимой этот показатель составляет около 30 часов (декабрь), а летом до 300 часов (июнь) [Лисецкий, 2005].

2.4. Гидрогеография территории исследования

Район относится к числу маловодных, что связано не только с

количеством осадков, но и рельефом местности. В близости от района исследования протекает река Северский Донец, протяженность которой составляет 110 км, средняя ширина русла – 20–25 м, глубина – 0,5–2 м. Река относится к группе рек равнинного типа, является правым притоком реки Дон [Леонтьева, 2014].

Озер на территориях, близких к району исследования, практически нет, в конце 18 века на территории юго-восточного района города Белгород существовало несколько озер, которые засыпались предприятиями, однако на месте одного из них до сих пор неосвоенный заболоченный участок. Имеются пруды для нужд предприятий [Харченко, 2014].

Территория исследования относится к центральному почвенному округу. Почвенный покров территории исследования представлен темно-серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами [Лисицкий, 2005].

Черноземы обладают большим естественным плодородием, что связано с мощным гумусовым горизонтом. Темно-серые лесные почвы преобладают. Они обладают меньшим плодородием, укороченным гумусовым горизонтом, кислой реакцией почвенной среды, среднее обеспечение элементами питания. Агрофизические свойства темно-серых лесных почв подходят для произрастания сельскохозяйственных культур. Темно-серые почвы являются генетически более холодными, чем чернозем. Период активных температур здесь в верхних горизонтах начинается в апреле, а на метровой глубине – только в начале июня. В летний период данный тип почвы прогревается до 22°C [Лисицкий, 2005].

Среднее количество гумусового слоя в почвах района составляет около 4,6 %. Среднее количество подвижного фосфора в почвах составляет около 153 мг/кг. Среднее количество обменного калия в почвах – 143 мг/кг. Почвы района являются кислыми, но близки к нейтральным, среднее значение кислотности почв – 5,8 [Лисицкий, 2005].

2.5. Лесные и растительные ресурсы территории исследования

Климатические условия, рельеф и другие природные сообщества Белгородской области и Белгородского района оказывают влияние на распространение лесостепной растительности, для которой характерно чередование лесов с луговой степью. Флора района исследования типична для среднерусской степи. Травянистая растительность представлена разнотравно-луговой смесью.

Леса в Белгородском районе располагаются неравномерно, представлены урочищами по оврагам, балкам, водоразделам, правым берегам рек в виде дубрав в лесостепной и степной зонах. Лесной фонд города Белгорода отнесен к лесам первой группы. Лесистость зоны исследования занимает от 8 до 11 % района [Лисицкий, 2005].

Лесные массивы состоят из дубов, берез, кленов, ясеней и тополей. Район, в котором проводились исследования, богат лекарственным сырьем, показатели которых составляют 5–7 кг сухого вещества на гектар.

Флора места исследования обладает ценностью, которая определяется ее видовым составом и группировками растительных сообществ. Флористический список растений области исследования богат представителями разных семейств: [Лисицкий, 2005].

1. Семейство Сельдереиные или зонтичные (Apiaceae) – сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), кокорыш обыкновенный (*Aethusa cynapium* L.), дудник лесной (*Angelica sylvestris* L.), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), тмин обыкновенный (*Carum carvi* L.), вех ядовитый (*Cicuta virosa* L.), божевик сибирский (*Heraclium sibiricum* L.);
2. Семейство Астровые (Asteraceae) – тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), лопух малый (*Arctium minus* (Hill) Bernh.), лопух паутинистый (*Arctium tomentosum* Mill.), полынь полевая (*Artemisia campestris* L.), полынь

обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Webb), василек синий (*Centaurea cyanus* L.), ромашка непахучая (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip.), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare* Lam.).

3. Семейство Крестоцветные (Brassicaceae) – чесночник лекарственный (*Alliaria petiolata* (M.Bieb.) Cavara & Grande), сурепка обыкновенная (*Barbarea vulgaris* W.T.Aiton), икотник серый (*Berteroa incana* (L.) DC.), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* Medik.).

4. Семейство Колокольчиковые (Campanulaceae) – колокольчик рапунцелевый (*Campanula rapunculoides* L.), колокольчик круглолистный (*Campanula rotundifolia* L.).

5. Семейство Гвоздичные (Caryophyllaceae) – горицвет кукушкин (*Cocciganthe flos-cuculi* (L.) Fourg. (*Coronaria floscuculi* (L.) R. Br.), гвоздика травянка (*Dianthus deltoides* L.), дрема белая (*Melandrium album* (Mill.) Garcke), хлопושка обыкновенная (*Oberna behen* (L.) Kopp. (*Silene cucubalus* Wib.)), мшанка полегающая (*Sagina procumbens* L.), мыльнянка лекарственная (*Saponaria officinalis* L.), торица полевая (*Spergula arvensis* L.), торичник красный (*Spergularia rubra* (L.) J. et C. Presl), звездчатка злаковая (*Stellaria graminea* L.), звездчатка ланцетолистная (*Stellaria holostea* L.), звездчатка средняя (*Stellaria media* (L.) Vill.), звездчатка болотная (*Stellaria palustris* Retz.).

6. Семейство Древогубцевые (Celastraceae) – бересклет пушистый (*Euonymus pubescens* Stev.).

7. Семейство Лещиновые (Corylaceae) – лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.).

8. Семейство Ворсянковые (Dipsacaceae) – короставник полевой (*Knautia arvensis* (L.) Coult.).

9. Семейство Мятликовые (Poaceae) – кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leys.) Holub), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), мятлик узколистый (*Poa angustifolia* L.), мятлик однолетний (*Poa annua* L.), мятлик сплюснутый (*Poa compressa* L.), мятлик дубравный (*Poa nemoralis* L.), мятлик болотный (*Poa palustris* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.).
10. Семейство Бобовые (Fabaceae) – клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), клевер средний (*Trifolium medium* L.), лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.).
11. Семейство Лютиковые (Ranunculaceae) – лютик едкий (*Ranunculus acris* L.), лютик многоцветковый (*Ranunculus polyanthemos* L.).
12. Семейство Гречишные (Polygonaceae) – горец лопатолистный (*Persicaria lapathifolia* (L.) S.F. Gray (*Polygonum lapathifolium* L.)).
13. Семейство Молочайные (Euphorbiaceae) – молочай лозный (*Euphorbia virgata* Waldst. et Kit.).
14. Семейство Розоцветные (Rosaceae) – роза морщинистая (*Rosa rugosa* Thunb.), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.), лапчатка серебристая (*Potentilla argentea* L.).
15. Семейство Маковые (Papaveraceae) – чистотел большой (*Chelidonium majus* L.).
16. Семейство Зверобойные (Hypericaceae) – зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.).
17. Семейство Яснотковые (Lamiaceae) – шалфей луговой (*Salvia pratensis* L.), шалфей остепненный (*Salvia tesquicola* Klokov et Pobed.), шалфей мутовчатый (*Salvia verticillata* L.), зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* (L.) Moench), черноголовка обыкновенная (*Prunella vulgaris* L.), тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.).

Глава 3. Материалы и методики исследования

Берёзовые листья были собраны на следующих площадках в г. Белгороде и области:

- I. Площадка находится на территории предприятий (АО «Верофарм», ЗАО «Петрохим», ООО «Полисинтез») – выборка 1 (100 шт.) 21.07.2017 и выборка 2 (100 шт.) – 22.08.2017. Поблизости находились деревья других пород, а именно, тополь, клен, каштан. Реки, водоемы отсутствуют. Рядом находятся многочисленные постройки различных предприятий, включая котельные. Автотрасса находится на расстоянии 1 км (рис. 1, приложение).
- II. Площадка расположена за 1 км от предприятий – выборка 1 (100 шт.) 22.07.2017 и выборка 2 (100 шт.) 23.08.2017. Открытая местность. Зброшенные постройки, окруженная забором. Из растительности тополь, кустарники. Автотрасса на расстоянии приблизительно 800 м. Небольшое количество жилых домов находятся в 500–600 метрах приблизительно (рис. 2, приложение).
- III. Площадка находится за 2 км от предприятий – выборка 1 (100 шт.) 22.07.2017 и выборка 2 (100 шт.) 20.08.2017. Автотрасса находится примерно в километре. Поблизости постройки жилых домов (рис.3, приложение).
- IV. Березовая роща рядом с территорией заповедника «Лес на Ворскле – выборка 1 (100 шт.) 23.07.2017 и выборка 2 (100 шт.) 25.08.2017. Эта площадка служит для сравнения с другими, так как эта территория находится вдали от предприятий, автотрассы т.е. менее подвержена антропогенной нагрузке (рис.4, приложение).

В ходе работы использовались две основные методики: «Здоровье среды: методика оценки» В.М Захарова, методика сбора и обработки материала для оценки стабильности развития берёзы повислой Г.А. Шестаковой и др.

При выборе деревьев учитывалось, во-первых, четкость определения принадлежности растения к исследуемому виду. Во избежание ошибок деревья

выбирались с четко выраженными признаками березы повислой (*Betula pendula* Roth.). При сборе материала так же было учтено возрастное состояние деревьев, то есть исследовали деревья достигшие генеративного возрастного состояния [Алексеев, 1996].

Работа начинается с выбора точек исследования – четырех–пяти площадок, желательно находящихся на одной линии по мере удаления от потенциального источника загрязнения в вашей местности – населенного пункта, промышленного предприятия или автомагистрали. Желательно располагать площадки по линии преобладающих ветров – в ту сторону, куда ветер сносит потенциальные загрязняющие вещества.

Дистанция между площадками зависит от мощности источника загрязнения. Если это большой населенный пункт с промышленными предприятиями и многочисленным автотранспортом, то расстояния между площадками могут быть в пределах 1 км. Если это, например, небольшая котельная, работающая на угле, то расстояния между площадками могут быть в пределах 400–800 метров. Если это автотрасса – то 20–200 метров (в зависимости от интенсивности потока автотранспорта) [Ашихмина, 2012].

Сбор материала следует проводить после остановки роста листьев (средней полосе начиная с июля) [Захаров и др., 2000] или проводить сбор материала можно после завершения интенсивного роста листьев до периода опадения листвы, что в средней полосе примерно соответствует периоду с конца мая до конца августа [Рассади́на, 2016].

Сбор листьев должен проводиться с растений, находящихся в примерно одинаковых экологических условиях по уровню освещенности, влажности, типу биотопа. Например, одна из площадок сбора не должна находиться на опушке, а другая – в лесу. Для анализа используют только средневозрастные растения, избегая молодые экземпляры и старые [Мукминов, Шуралев, 2011].

Сбор листьев производится с 10 близко растущих деревьев – по 10 листьев с каждого дерева, всего – 100 листьев с одной площадки. Следует брать несколько больше листьев с площадки, на случай попадания поврежденных листьев. Повреждённые листья могут быть использованы в исследовании, только в том случае, если не затронуты участки, с которых будут сниматься значения промеров [Баянова, Максимова, 2013]. Однако, во избежание ошибок поврежденные листья лучше не брать. Листья берутся из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток. При этом, стараются задействовать ветки разных направлений, условно - с севера, юга, запада и востока. У березы берут листья только с укороченных побегов [Козлов,2001] (рис. 3.1).

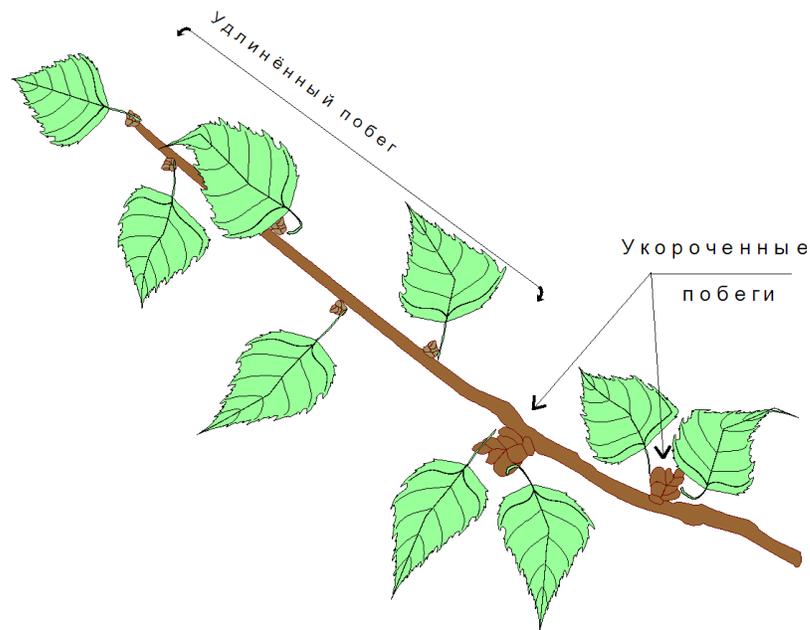


Рис.3.1. Типы побегов у березы

Листья стараются брать примерно одного, среднего для данного вида размера. Если в местности, где выполняется данная исследовательская работа, нет берез, в качестве объекта можно использовать другие виды листопадных

деревьев. Листья с одного дерева связывают ниткой по черешкам и складывают в пакеты для транспортировки на базу. Каждый пакет (выборка) снабжается этикеткой, на которой указывают: дату, место сбора (делая максимально подробную привязку на местности) и номер площадки, а также автора (авторов) сбора [Звягинцева, 2014].

Для обработки собранного материала необходимы линейка, циркуль-измеритель и транспортир. Разберем процедуру измерений на примере листа березы (рис. 3.2).

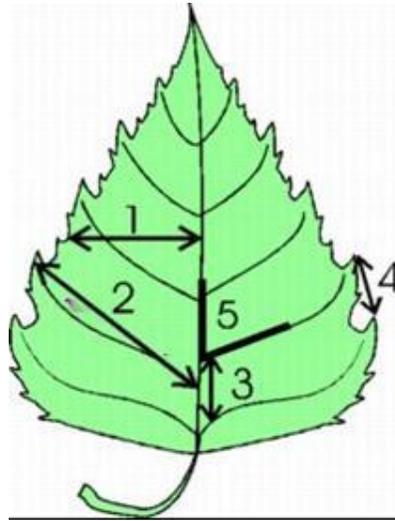


Рис. 3.2. Параметры листа березы

С каждого листа снимают показатели по 5-ти параметрам с левой и правой стороны листа: 1 – ширина половинки листа. Для измерения лист складывают поперек пополам, прикладывая макушку листа к основанию, потом разгибают и по образовавшейся складке производят измерения; 2 – длина второй жилки второго порядка от основания листа; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка [Захаров и др., 2000]. Измерения проводятся в

сантиметрах, но для удобства в таблицы можно заносить в миллиметрах (пункты 1–4) и градусах (пункт 5) [Боголюбов, 2001].

Первые четыре параметра снимаются циркулем-измерителем (если его нет, то измерения можно проводить линейкой с четкими миллиметровыми делениями). Угол между жилками измеряется транспортиром. Удобно использовать прозрачные пластиковые транспортиры [Захаров и др., 2000].

При измерении угла, транспортир (поз. 1 на рис. 3.3) располагают так, чтобы центр окошка транспортира (поз.2 рис. 3.3) находился на месте ответвления второй жилки второго порядка (поз. 4 рис. 3.3).

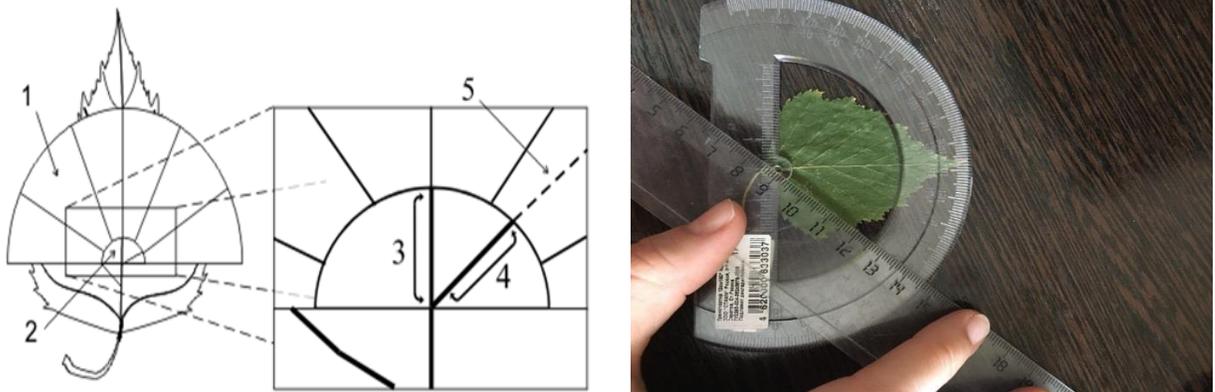


Рис. 3.3. Измерение угла между жилками

Желательно, чтобы все листья из одной выборки измерялись одним человеком – для предотвращения влияния субъективных ошибок.

Следует помнить, что интерес представляют не абсолютные размеры параметров, а разница между левой и правой половинками. Поэтому, на технику измерений левой и правой сторон листа следует постоянно обращать внимание (положение линейки и транспортира, освещение и т.д.). Данные измерений заносят в таблицу (таблицу 3.1).

Таблица 3.1

Величины промеров листьев (пример)

№ листа	Ширина половинок листа, мм		Длина второй жилки, мм		Расстояние между основаниями 1 и 2 жилок, мм		Расстояние между концами 1 и 2 жилок, мм		Угол между центральной и 2 жилкой, °	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
1	26	23	33	33	3	3	12	12	46	50
2	23	24	33	35	4	4	12	10	46	48
3	20	19	34	35	2	2	11	12	45	45
4	22	23	35	38	4	4	14	12	35	40
5	25	20	30	30	2	3	11	14	45	50
6	23	24	33	35	4	4	12	10	46	48
7	20	19	34	35	2	2	11	12	45	45
8	26	23	33	33	3	3	12	12	46	50
9	20	19	34	35	2	2	11	12	45	45
10	26	23	33	33	3	3	12	12	46	50

Величину асимметрии у растений рассчитывают, как отношение разницы в оценках слева и справа к сумме этих оценок.

Чтобы получить интегральный показатель стабильности развития, сначала рассчитывают среднюю относительную величину асимметрии по всем признакам для каждого листа, сложив относительные величины асимметрии по

каждому признаку и поделив эту сумму на число признаков. Затем рассчитывают среднее арифметическое по этому показателю для всех листьев с одной модельной площадки [Шестакова и др., 2004].

Полученные величины заносятся в соответствующие графы вспомогательной таблицы 3.2.

Таблица 3.2.

Вспомогательная таблица расчетов интегрального показателя флуктуирующей асимметрии в выборке (пример)

№ п/п	Номер признака					Величина асимметрии листа
	1	2	3	4	5	
1	0,06	0,08	0,1	0,1	0,03	0,074
2	0,06	0,05	0,2	0,2	0,04	0,045
3	0,06	0,09	0,1	0,1	0,04	0,078
4	0,06	0,05	0,2	0,2	0,04	0,045
5	0,07	0,06	0,1	0,1	0,06	0,056
6	0,06	0,09	0,1	0,1	0,04	0,078
7	0,04	0,05	0,5	0,2	0,03	0,036
8	0,05	0,5	0,4	0,4	0,06	0,035
9	0,06	0,05	0,2	0,2	0,04	0,078
10	0,07	0,06	0,1	0,1	0,06	0,027

На последнем этапе вычисляется интегральный показатель стабильности развития – величина среднего относительного различия между сторонами на признак. Для этого вычисляют среднее арифметическое всех величин асимметрии для каждого листа. Это значение округляется до третьего знака после запятой (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Пятибалльная шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для березы повислой (*Betula pendula*)

Балл	Величина показателя стабильности развития	Шкала
I	<0,040	Условная норма
II	0,040 - 0,044	Слабое влияние неблагоприятных факторов
III	0,045 - 0,049	Загрязненные районы
IV	0,050 - 0,054	Загрязненные районы
V	>0,054	Критическое значение

Статистическая значимость различий между выборками по величине интегрального показателя стабильности развития (частота асимметричного проявления на признак) определяется по t – критерию Стьюдента [Захаров и др., 2000].

Глава 4. Полученные результаты исследования и их обсуждение

На заложенных площадках были собраны листья по две повторности. Одна повторность составляет 100 штук. Используемый метод основан на обнаружении нарушений симметрии листовой пластинки, которые идентично показывают уровень техногенной нагрузки на растительность. Все листья были измерены по следующим параметрам:

- ширина половинки листа (слева, справа);
- длина второй жилки второго порядка от основания листа (слева, справа);
- расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка (слева, справа);
- расстояние между концами первой и второй жилок (слева, справа);
- угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка (слева, справа).

Математическая обработка данных проводилась на базе программы Microsoft Office Excel. С помощью нее были рассчитаны нижеперечисленные показатели:

- величина флуктуирующей асимметрии;
- среднее;
- среднеквадратическое отклонение;
- коэффициент вариации;
- проверка данных на нормальное распределение.

ФА – величина флуктуирующей асимметрии рассчитывается с помощью интегрального показателя, т. е. величины среднего относительного различия на признак.

Для расчетов использовались промеры листьев березы повислой (табл. 1–4, приложение). Обозначим промеры буквой F. Так как у нас измеряется две

стороны – левая и правая, то обозначим $F_{л}$ и $F_{п}$. Измерив все параметры, получим сто значений F .

На первом этапе для каждого промеренного листа вычисляем относительные величины асимметрии признака (слева и справа) – Y . Для этого разность значений для одного листа и по каждому признаку делим на сумму этих же значений. Например, у листа № 9 (см. приложения табл. 1) по второму признаку $F_{л}= 35$, $F_{п}= 37$. Находим Y по формуле:

$$Y = \frac{F_{л} - F_{п}}{F_{л} + F_{п}} = \frac{35 - 37}{35 + 37} = \frac{2}{72} = 0,02 \quad (4.1)$$

Такой расчет делаем по каждому признаку, в соответствии получим пять значений для одного листа. Полученные величины заносятся во вспомогательную таблицу (табл. 5–8, приложение).

На втором этапе находим значение среднего относительного различия между сторонами листа (Z). Для этого находим сумму значений относительных величин асимметрии по каждому признаку, а затем делим полученное значение на количество признаков. Например, для листа № 9 $Y_1= 0,04$, $Y_2 = 0,03$, $Y_3= 0,00$, $Y_4= 0,07$, $Y_5= 0,06$. Находим Z по формуле:

$$Z = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{N} = \frac{0,04 + 0,03 + 0,00 + 0,07 + 0,06}{5} = 0,42 \quad (4.2)$$

где N – количество признаков.

Это действие производим для каждого листа. Результаты вычислений заносим во вспомогательную таблицу в графу «Величина асимметрии листа» (см. табл. 5–8, приложение).

На третьем и последнем этапе находим величину среднего относительного различия между сторонами на признак, то есть интегральный

показатель стабильности развития. Для этого сумму всех значений Z делим на число этих значений в выборке. Полученное значение округляется до третьего знака после запятой.

$$Z = \frac{\sum Y}{n} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n}{n} \quad (4.3)$$

Полученные данные интегрального показателя стабильности развития в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Величина коэффициента флуктуирующей асимметрии на исследуемых площадках

№ п/п	Исследуемый участок	Балл (коэффициент ФА)	Качество среды
1	Территория предприятий	5 (0,390)	Критическое значение
		5 (0,455)	
2	За 1 км от предприятий	4 (0,050)	Загрязненный район
		4 (0,055)	
3	За 2 км от предприятий	2 (0,040)	Слабое влияние неблагоприятных факторов
		2 (0,043)	
4	«Лес на Ворскле», Борисовка	1 (0,040)	Условная норма
		1 (0,040)	

Из таблицы видно, что состояние окружающей среды в первом исследуемом участке находится в критическом состоянии. Это можно объяснить тем, что большинство выбросов с промышленных предприятий в атмосферный воздух оседают, не успевая распространиться ветром на более

дальние расстояния. Коэффициент (ФА) в выборке № 2 немного выше по сравнению с выборкой № 1.

Участок № 2 менее загрязнен по сравнению с первым, но относится к «загрязненным районом». Некоторое количество загрязненных веществ оседают на этой территории.

На участке № 3 уже другая ситуация. Величина флуктуирующей асимметрии равна двум баллам, что соответствует слабому влиянию неблагоприятных факторов. Можно предположить, что при увеличении скорости ветра в данном направлении вредные выбросы предприятий уносятся на большие расстояния.

Участок № 4 характеризуется самым благоприятным районом. Это объясняется тем, что на этот участок приходится минимум антропогенной нагрузки. Этот участок расположен рядом с охраняемой территорией заповедника.

На всех участках видно, что выборка № 2 немного превышает коэффициент флуктуирующей асимметрии. Это свидетельствует о том, что антропогенная нагрузка увеличилась после первого сбора материала.

Расчет средних значений вычисляем по следующей формуле [Снегин, 2016]:

$$M = \frac{\sum V}{n} \quad (4.4)$$

где M – средняя арифметическая;

V – дата (значение признака);

n – число объектов в группе;

Вычисляем среднее значение для каждого признака. Данные по каждой площадке заносим в таблицы. Среднее значение на площадке № 1 в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Среднее значение промеров листовой пластинки березы повислой
(*B. pendula* Roth)

Признак	Выборка 1	Выборка 2
Площадка № 1 (на территории предприятий)		
1	2	3
Ширина половинки листа слева	24,44	25,08
Ширина половинки листа справа	24,42	25,18
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	34,09	34,43
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	34,16	34,42
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	4,55	4,38
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	4,37	4,24
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	12,84	12,99
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	12,06	13,04
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	43,74	38,96
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	44,5	39,94
Площадка № 2 (за 1 километр от предприятий)		
Ширина половинки листа слева	22,0	22,76
Ширина половинки листа справа	22,37	23,11

Продолжение табл. 4.2

1	2	3
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	31,7	31,14
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	32,65	32,02
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	4,04	3,83
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	4,06	3,58
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	12,04	11,89
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	12,03	11,72
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	44,64	45,17
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	45,12	45,6
Площадка № 3 (за 2 километра от предприятий)		
Ширина половинки листа слева	23,95	23,86
Ширина половинки листа справа	24,09	23,9
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	36,29	36,81
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	36,8	37,06
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	6,35	6,41

Продолжение табл. 4.2

1	2	3
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	6,57	6,58
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	12,86	13,18
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	12,99	13,1
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	41,51	41,65
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	41,21	41,39
Площадка № 4 (Борисовка, «Лес на Ворскле»)		
Ширина половинки листа слева	21,61	22,34
Ширина половинки листа справа	21,75	22,32
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	32,3	33,73
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	31,99	33,33
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	6,54	6,33
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	6,59	6,42
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	12,18	15,27

Продолжение табл. 4.2

1	2	3
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	12,34	15,36
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	41,28	37,48
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	41,33	37,55

С помощью программы Microsoft Office Excel произведен расчет среднеквадратического отклонения. Значения выборки № 1 приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Средние значения исследуемых признаков в выборках листьев березы повислой (*B. pendula* Roth)

Признак	Пробные площадки			
	На территории и предприятий	За 1 км от предприятия	За 2 км от предприятий	Березовая роща рядом с территорией заповедника «Лес на Ворскле»
	Выборки 1			
	1	2	3	4
Ширина половинки листа слева	24,44±2,25	22,0±2,26	23,95±1,51	21,61±3,83
Ширина половинки листа справа	24,42±2,45	22,37±2,58	24,09±1,16	21,75±3,33

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4	5
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	34,09±3,68	31,7±2,44	36,29±2,21	32,3±5,43
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	34,16±3,40	32,65±2,34	36,8±2,18	31,99±5,49
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	4,55±1,43	4,04±1,27	6,35±1,15	6,54±1,78
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	4,37±1,27	4,06±1,13	6,57±0,97	6,59±1,94
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	12,84±2,36	12,04±1,66	12,86±1,68	12,18±3,28
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	12,06±1,82	12,03±1,48	12,99±1,38	12,34±3,16
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	43,74±5,24	44,64±2,71	41,51±2,36	41,28±5,37

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4	5
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	44,5±5,50	45,12±3,24	41,21±2,40	41,33±5,64

Расчет среднеквадратического отклонения в выборке № 2 приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Средние значения исследуемых признаков в выборках листьев березы повислой (*B. pendula* Roth)

Признак	Пробные площадки			
	На территории предприятия	За 1 км от предприятий	За 2 км от предприятий	Березовая роща рядом с территорией заповедника «Лес на Ворскле»
	Выборки 2			
1	2	3	4	5
Ширина половинки листа слева	25,08±1,90	22,76±1,89	23,86±1,51	22,34±4,28
Ширина половинки листа справа	25,18±1,10	23,11±2,60	23,9±1,33	22,32±3,97
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	34,43±1,58	31,14±2,34	36,81±2,32	33,73±4,68

Продолжение табл. 4.4

1	2	3	4	5
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	34,42±1,15	32,02±2,42	37,06±2,31	33,33±4,71
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	4,38±1,31	3,83±1,36	23,86±1,27	6,33±1,66
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	4,24±1,06	3,58±1,10	23,9±0,92	6,42±1,69
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	12,99±1,97	11,89±1,41	36,81±1,57	15,27±2,46
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	13,04±1,56	11,72±1,14	37,06±1,74	15,36±2,44
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	38,96±4,32	45,17±3,07	41,65±2,48	37,48±4,50
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	39,94±5,82	45,6±5,28	41,39±2,71	37,55±4,42

Следующим был рассчитан коэффициент вариации для каждого признака. Он применяют для сравнения изменчивости разных признаков, которые выраженные в разных единицах времени.

Применение коэффициента вариабельности дает судить о возможности использования методики флуктуирующей асимметрии для оценки качества окружающей среды. Если вариабельность морфометрического признака данной древесной породы отвечает высшему уровню изменчивости (более 25 %), значит, она определяет неприменимость использования в качестве биоиндикационного вида, тем самым уменьшая его практическую ценность. [Кокорина, Татаринцев, 2010].

Результаты данных по площадке I приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Коэффициент вариации для каждого признака на площадке I

Признак	Коэффициент вариации	
	Выборка 1	Выборка 2
1	2	3
Ширина половинки листа слева	10 %	8 %
Ширина половинки листа справа	10 %	4 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	11 %	5 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	10 %	3 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	20 %	20%
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	20 %	25%

Продолжение табл. 4.5

1	2	3
Расстояние между концами первой и второй жилки слева	18 %	15%
Расстояние между концами первой и второй жилки справа	15 %	12%
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	12 %	11 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	12 %	15 %

Из таблицы видно, что коэффициент вариации в выборке № 1 и № 2 в основном выше 10 %, но не превышает 25 %.

На площадке II коэффициент вариации отдельных признаков достигает 25%, как в первой, так и во второй выборке. Данные приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Коэффициент вариации для каждого признака на площадке II

Признак	Коэффициент вариации	
	Выборка 1	Выборка 2
1	2	3
Ширина половинки листа слева	10 %	8 %
Ширина половинки листа справа	12 %	11 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	8 %	8 %

Продолжение табл. 4.6

1	2	3
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	7 %	8 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	25 %	25 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	25 %	25 %
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	14 %	12 %
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	12 %	10 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	6 %	7 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	7 %	12 %

На площадке III коэффициент вариации достаточно невелик по сравнению с данными на площадке II, так как не превышает 15 %. Данные в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Коэффициент вариации для каждого признака на площадке III

Признак	Коэффициент вариации	
	Выборка 1	Выборка 2
1	3	4

Продолжение табл. 4.7

1	2	3
Ширина половинки листа слева	6 %	6 %
Ширина половинки листа справа	5 %	6 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	6 %	6 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	6 %	6 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	15 %	5 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	15 %	4 %
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	13 %	4 %
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	11%	5 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	6 %	6 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	6 %	7 %

Коэффициент вариации на площадке IV, что в выборке 1 и что в выборке 2, такой же высокий (более 10 %), как и на площадке I. Но не превышает 25 %. Данные приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Коэффициент вариации для каждого признака на площадке IV

Признак	Коэффициент вариации	
	Выборка 1	Выборка 2
1	2	3
Ширина половинки листа слева	18 %	19 %
Ширина половинки листа справа	15 %	18 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа слева	17 %	14 %
Длина второй жилки второго порядка от основания листа справа	17 %	14 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка слева	20 %	25 %
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка справа	23 %	25 %
Расстояние между концами первой и второй жилок слева	25 %	16 %
Расстояние между концами первой и второй жилок справа	25 %	16 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка слева	13 %	12 %
Угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка справа	14 %	12 %

Результаты коэффициента вариации листовой пластинки показали, что признаки соответствуют низким (до 10 %) и средними (11–25 %) значениями коэффициента вариации. Отсюда следует, что они имеют низкий уровень изменчивости, что доказывает о пригодности использования признаков для оценки биоиндикации [Кокорина, Татаринцев, 2010].

Следующий этап – проверка массива данных флуктуирующей асимметрии на нормальное распределение.

Были построены графики данных на нормальное распределение с помощью программы Statistica 13.

На рисунке видно, что форма гистограммы хорошо описывается теоретической кривой Гаусса. По Колмагорову-Смирнову уровень значимости больше $p > 0,2$. По Шапиро-Уилка уровень значимости больше 0,05. Гипотеза о нормальности не отклоняется (рис. 4.1).

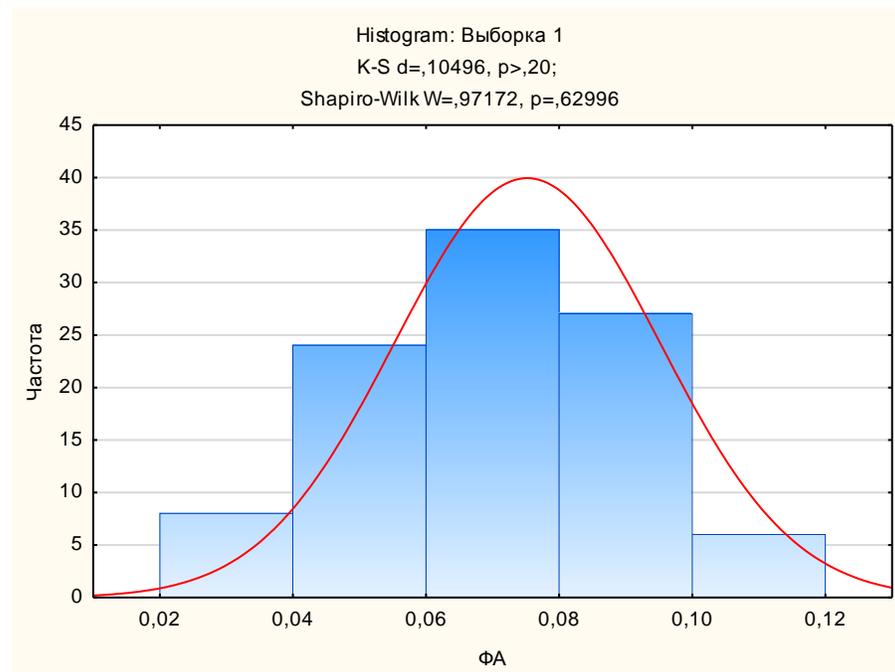


Рис. 4.1. Нормальное распределение на площадке I, выборка 1

В подтверждение гипотезе на нормально-вероятностном графике видно, что значения расположены вдоль теоретической прямой (рис. 4.2).

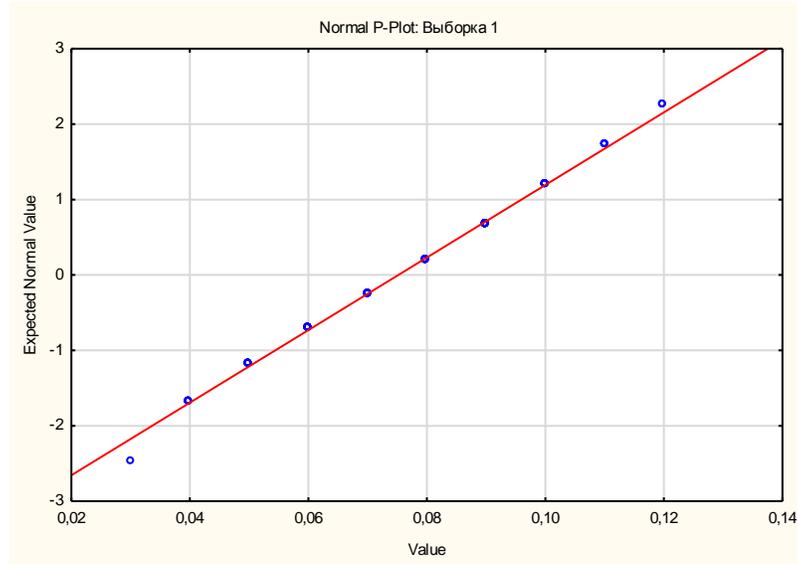


Рис. 4.2. Normally-вероятностный график (площадка I, выборка 1)

Та же самая картина наблюдается и в выборке 2. Можно считать, что на площадке I распределение выборок нормальным (рис. 4.3).

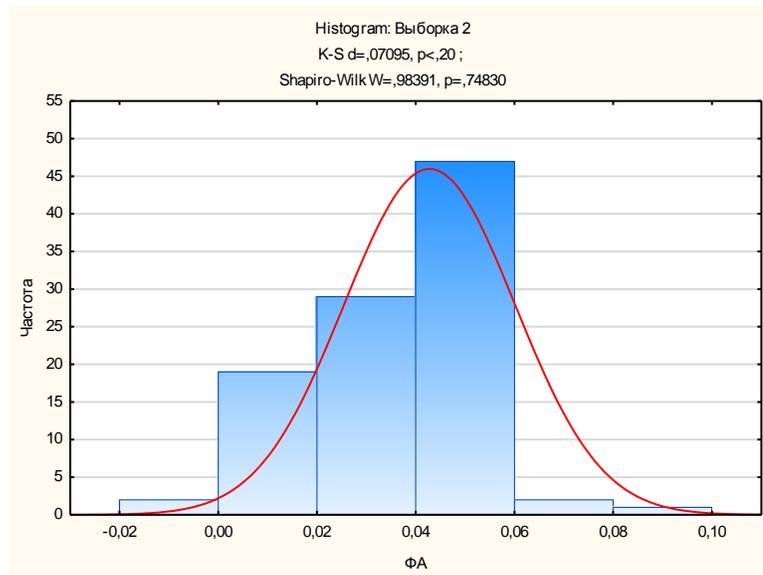


Рис. 4.3. Нормальное распределение на площадке I, выборка 2

На нормально-вероятностном графике видно, что значения расположены вдоль теоретической прямой (рис. 4.4). Гипотеза о нормальности не отклоняется.

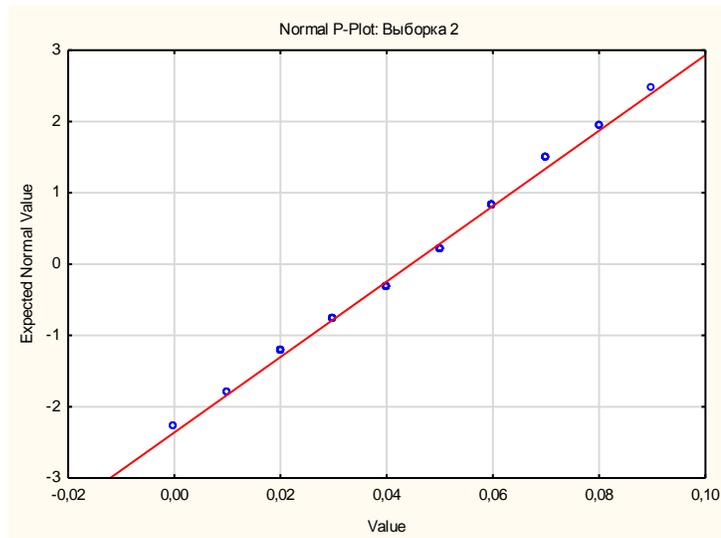


Рис. 4.4. Normally-вероятностный график (площадка I, выборка 2)

На рисунке видно, что гистограмма достаточно хорошо описывается теоретической кривой Гаусса. Уровень значимости по Колмагорову-Смирнову больше $p > 0,2$. Уровень значимости по Шапиро-Уилка больше 0,05 (рис. 4.5).

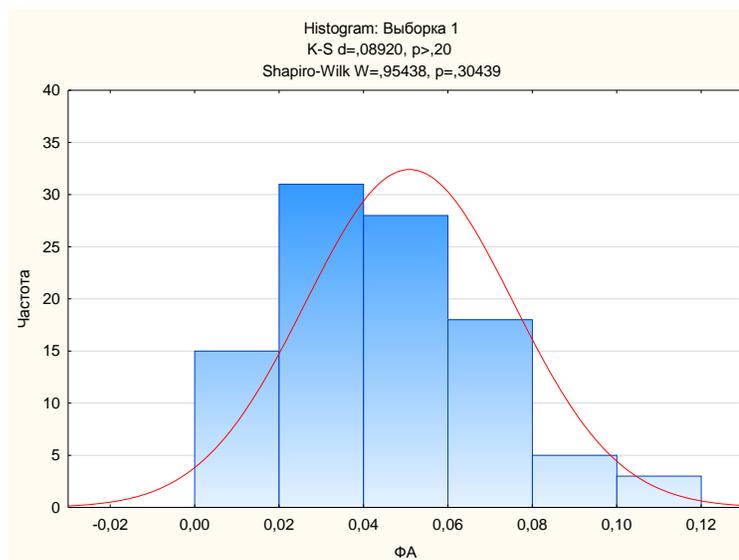


Рис.4.5. Нормальное распределение на площадке II, выборка 1

Нормально-вероятностный график подтверждающий указанные выше данные (рис. 4.6).

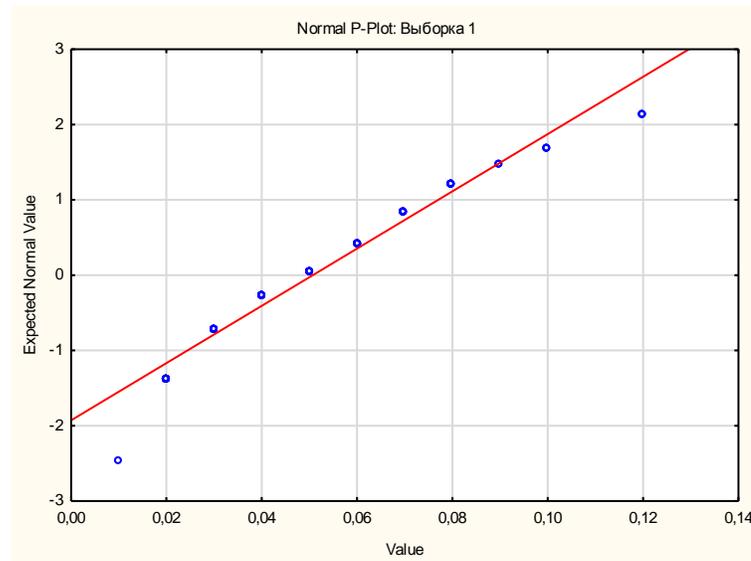


Рис. 4.6. Нормально-вероятностный график на площадке II, выборка 1

По графику видно, что систематические отклонения есть, но они не столь существенны, чтобы категорически сказать, что распределение не нормально.

Следующий график описывает данные площадки II, выборки 2. По графику видно, что флуктуирующая асимметрия очень разнообразна по сравнению с другими графиками. Теоретическая кривая Гаусса не очень хорошо описывает гистограмму. Есть определенные отклонения.

Уровень значимости по Колмагорову-Смирнову больше $p > 0,2$, это означает, что гипотеза о нормальности не отклоняется. Уровень значимости по Шапиро-Уилка меньше 0,05, что отклоняет гипотезу о нормальности (рис. 4.7).

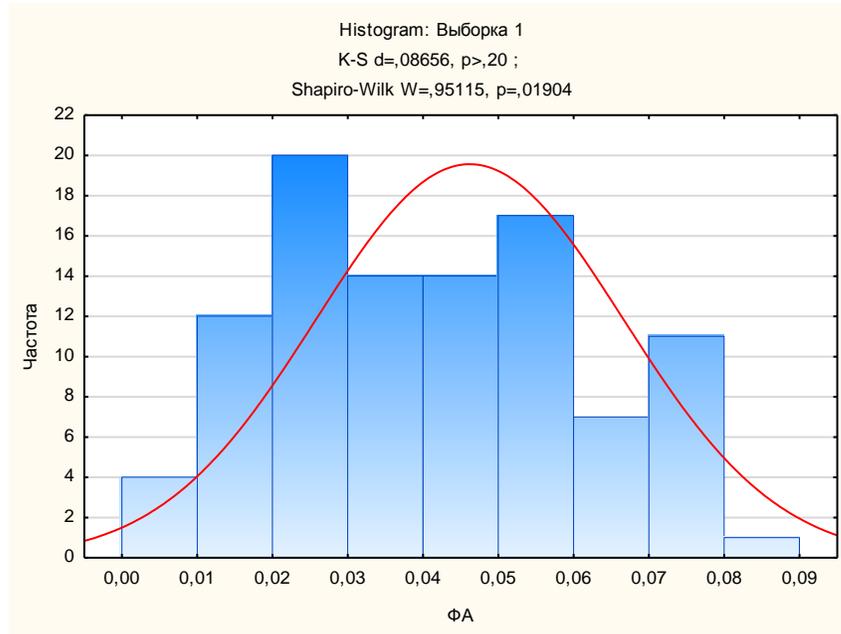


Рис. 4.7. Нормальное распределение на площадке II, выборка 2

Но глядя на нормально-вероятностный график мы видим, что отклонения не столь критичны, чтобы отклонять гипотезу о нормальности (рис.4.8).

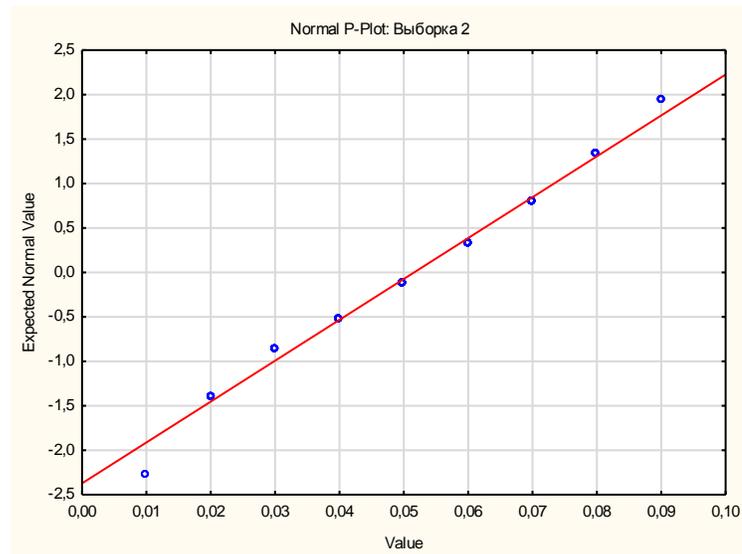


Рис. 4.8. Нормально-вероятностный график на площадке II, выборка 2

На рисунке видно, что гистограмма относительно хорошо описывается теоретической кривой Гаусса. Уровень значимости по Колмагорову-Смирнову больше $p > 0,2$. Уровень значимости по Шапиро-Уилка больше 0,05 (рис.4.9). Значит гипотеза нормального распределения не отклоняется.

На нормально-вероятностном графике видно, что существенных отклонений от теоретической нормальной прямой нет (рис. 4.10). Можно сказать, что распределение относительно нормально.

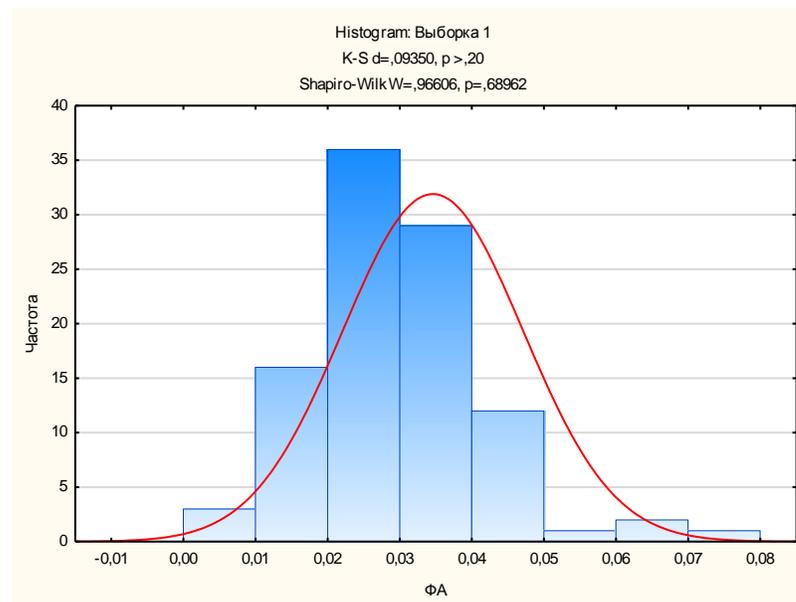


Рис. 4.9. Нормальное распределение на площадке III, выборка 1

На нормально-вероятностном графике видно, что существенных отклонений от теоретической нормальной прямой нет. Можно сказать, что распределение относительно нормально (рис. 4.10).

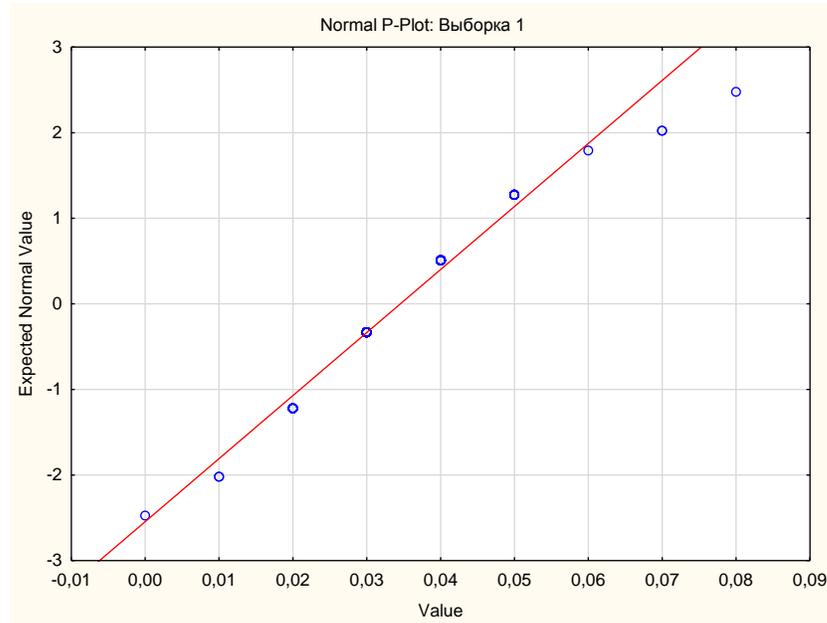


Рис. 4.10. Нормально-вероятностный график на площадке III, выборка 1

Следующий график описывает данные площадки II, выборки 2. По графику видно, что флуктуирующая асимметрия очень разнообразна по сравнению с другими графиками.

Теоретическая кривая Гаусса достаточно хорошо описывает гистограмму. Есть определенные отклонения.

Уровень значимости по Колмагорову-Смирнову больше $p > 0,2$, это означает, что гипотеза о нормальности не отклоняется. Уровень значимости по Шапиро-Уилка больше 0,05, что подтверждает гипотезу о нормальности (рис. 4.11).

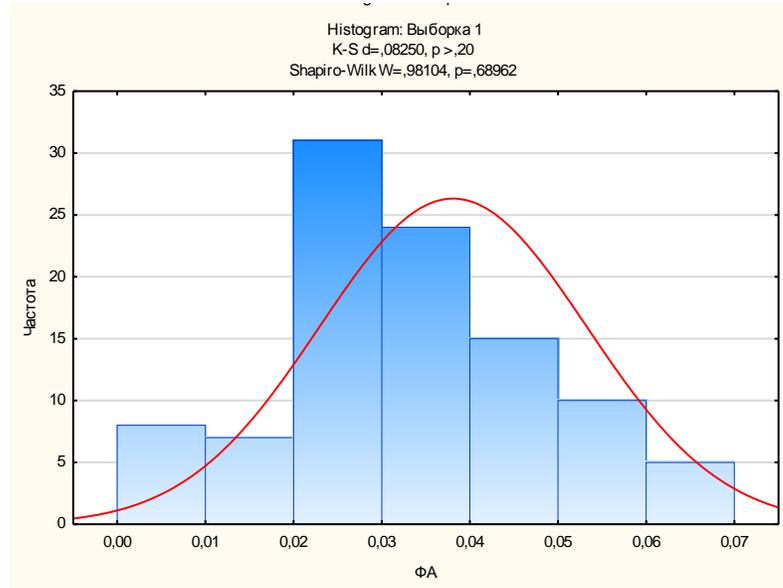


Рис.4.11. Нормальное распределение на площадке III, выборка 2

По нормально-вероятностному графику заметно, что значения располагаются практически строго по линии. Что доказывает гипотезу о нормальном распределении (рис. 4.12).

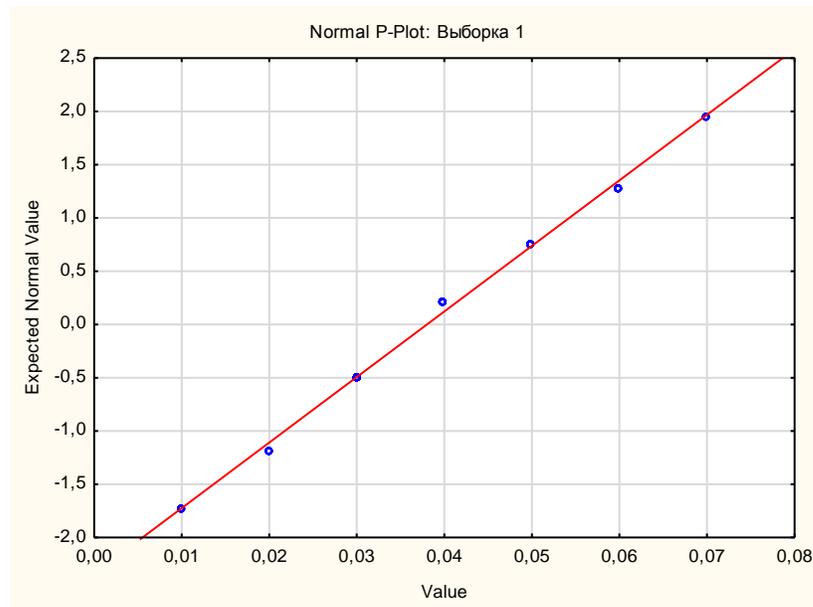


Рис. 4.12. Нормально-вероятностный график на площадке III, выборка 2

Рассмотрим график данных на площадке IV. Теоретическая кривая Гаусса не очень хорошо описывает гистограмму. Некоторые значения флуктуирующей асимметрии выходят за пределы кривой Гаусса. Уровень значимости по Колмагорову-Смирнову больше $p > 0,2$, это означает, что гипотеза о нормальности не отклоняется. Уровень значимости по Шапиро-Уилка меньше 0,05, что отклоняет гипотезу о нормальности (рис. 4.13). Но не следует делать поспешных выводов. Для проверки сделаем нормально-вероятностный график, по которому видно, что значения находятся вдоль прямой с небольшими отклонениями. Эти отклонения не столь критичны чтобы отвергать гипотезу о нормальном распределении (рис.4.14).

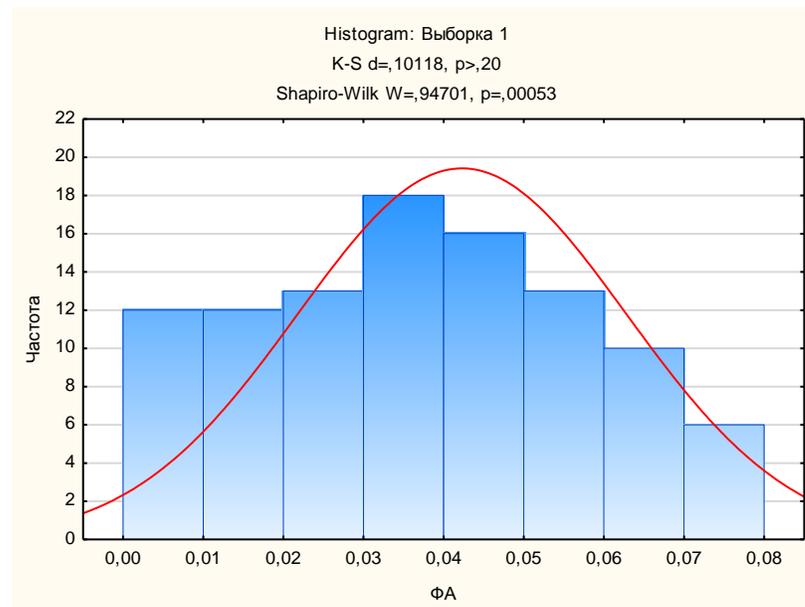


Рис.4.13. Нормальное распределение на площадке IV, выборка 1

Но не следует делать поспешных выводов. Для проверки сделаем нормально-вероятностный график, по которому видно, что значения находятся вдоль прямой с небольшими отклонениями. Эти отклонения не столь критичны чтобы отвергать гипотезу о нормальном распределении (рис.4.14).

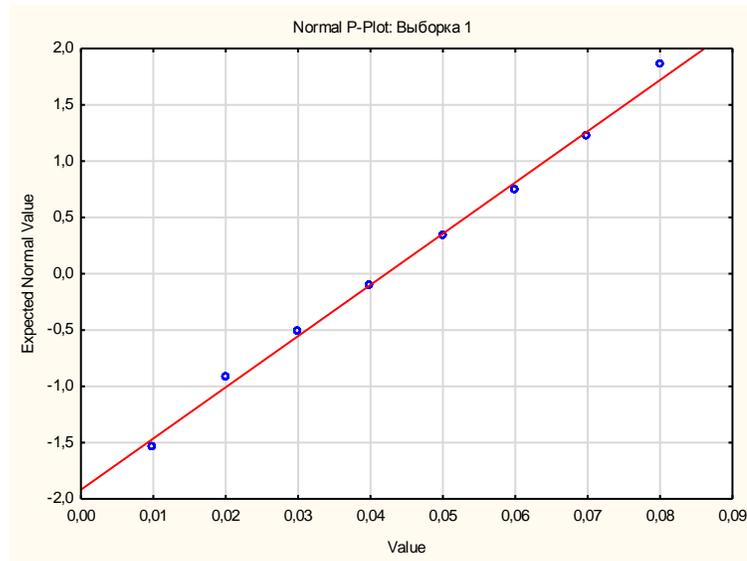


Рис. 4.14. Нормально-вероятностный график на площадке IV, выборка 1

В выборке 2 теоретическая кривая Гаусса очень хорошо описывает гистограмму по сравнению с выборкой 1 (рис. 4.15).

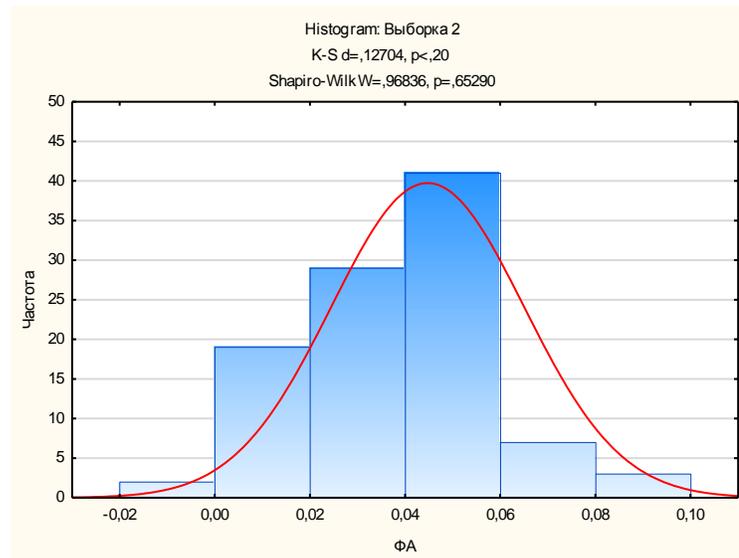


Рис.4.15. Нормальное распределение на площадке IV, выборка 2

Значения выборки 2 на нормально-вероятностном графике находятся практически вдоль линии с небольшим от нее отклонением (рис. 4.16).

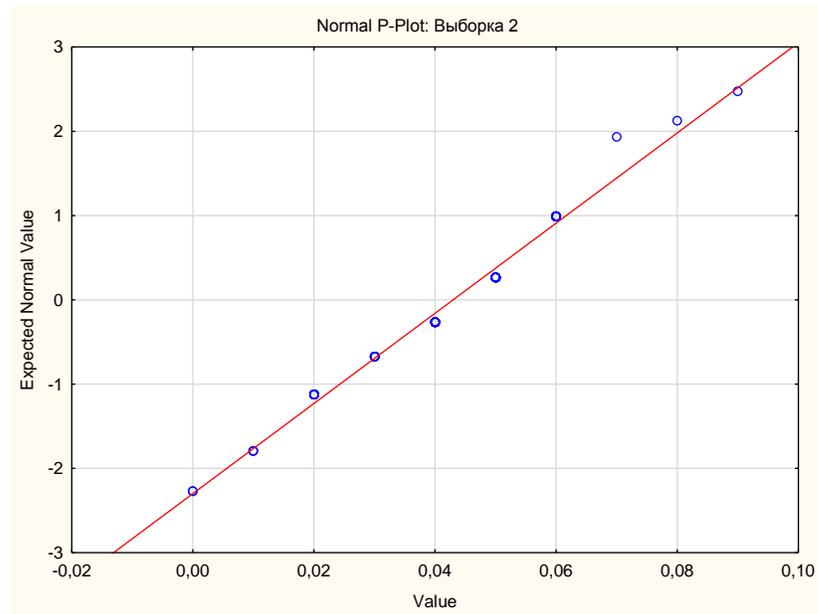


Рис. 4.16. Нормально-вероятностный график на площадке IV, выборка 2

На основе полученных гистограмм можем сделать вывод о нормальности распределения данных.

Выводы

1. Район исследования относится к производственной зоне юго-восточного района города Белгорода, где сосредоточены предприятия, относящиеся к I, II, III, IV и V классам вредности, что оказывает негативное влияние на экологическое состояние территории.

2. С помощью методики оценки качества среды по флуктуирующей асимметрии березы повислой (*B. pendula* Roth.) проведено изучение морфологических показателей данного объекта в районе исследования. Средние значения флуктуирующей асимметрии составляют на площадке № 1 – 0,423, № 2 – 0,053, № 3 – 0,042 и № 4 – 0,039.

3. Экологическое состояние окружающей среды на площадке № 1 оценено как «критическое» (5 баллов), площадка № 2 соответствует критерию «загрязненный район» (4 балла), площадка № 3 оценена как территория со слабым влиянием неблагоприятных факторов (2 балла) по сравнению с условной нормой.

Список использованных источников

1. Афанасьев Ю.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Методическое пособие. Изд-во МНЭПУ. М., 2001. 337 с.
2. Алахвердиев Ф.Д. Ландшафтные индикаторы смывности почв в полупустынном поясе бассейна реки Самур // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10, №4. С. 81–84.
3. Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг. Учебно-методическое пособие // Киров: ООО «Типография «Старая Вятка», 2012. 95 с.
4. Алексеев С.В. Практикум по экологии. Учебное пособие. М.: МДС, 1996. 191с.
5. Ашихмина Т.Я. и др. Биоиндикация и биотестирование – метода познания экологического состояния окружающей среды. Киров. Издат. Москва. 2005. 236 с.
6. Безматерных Д.М. Зообентос равнинных притоков Верхней Оби. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2008. 186 с.
7. Боянова О.В., Максимова О.В. Методики исследовательской деятельности по экологии. 2013. 120 с.
8. Белякова Г. А., Дьяков Ю. Т., Тарасов К. Л. Ботаника. М.: Издат. центр «Академия», 2006. 320 с.
9. Кузнецов, А.Е. Градова Н.Б. Прикладная эковиотехнология: Т 2. М.: Бином, 2010. 244 с.
10. Блази К. Оценка влияния окружающей среды: соответствует ли она требованиям современного мира и как ее улучшить? // Вестник Международной академии наук. 2010. № 3.С. 4–5.
11. Боголюбов А.С. Оценка загрязнения воздуха методом лишеноиндикации. Методическое пособие. Издат. «Экосистема». М., 2001. 15 с.

12. Бухарин О. В., Чернова О. Л., Матюшина С. Б., Немцева Н. В. Способ биоиндикации загрязнения воздуха. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/210/2108394.html> (дата обращения: 26.07.2017).

13. Багдай Т.В. Екологія, гігієна тварин // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2016. №1. С. 190–194.

14. Белюченко И.С., Смагина А.В., Федоненко Е.В. Биомониторинг состояния окружающей среды. Учебное пособие. Краснодар: КубГАУ. 2014. 153 с.

15. Белякова Г. А., Дьяков Ю. Т., Тарасов К. Л. // Журнал ботаника. 2006. Т. 2. 320 с.

16. Ветчинников А.А. Мониторинг и методы контроля состояния компонентов окружающей среды. Учебно-методическое. Нижегородская гос. с.-х. академия. М., 2015. 39 с.

17. Вайнерт Э., Вальтер Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р.Шуберта. М.: Мир.1988. 348с.

18. Верхоглядова А.С. Биоиндикация атмосферного воздуха как инновационная технология // Материалы IV межрегиональной научно-практической конференции. Москва, 2017. 144 с.

19. Верзилина И.Н. Анализ антропогенной нагрузки на территориях крупного города // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т.10, №1. С. 151–154.

20. Грудева Л.И. Биоиндикация состояния атмосферы на некоторых участках города Абакана // Сборник трудов XIX международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий». Абакан: Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 2015. 177 с.

21. Горбунова Т.Л. Биоиндикация в системе мониторинга состояния водной среды на территориях рекреационно-курортной специализации // Успехи современной науки. 2017. № 3. С. 89–93.
22. Гудзенко Е.О. Оценка экологического состояния зеленых насаждений города Ростова-на-Дону: Автореф. дисс...канд.биол.наук. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2016. 190 с.
23. Губанов И. А. Дикорастущие полезные растения СССР. М.: Мысль, 1976. 360 с.
24. Гуртяк А.А., Углев А.А. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т 317, № 1. С. 200–204.
25. Дегтярь А.В. Татаринцев Р.Ю. Экология Белогорья // Белгород: Константа, 2016. 122 с.
26. Дьяченко Г.И. Мониторинг окружающей среды // Экологический мониторинг. Новосибирск, 2003. 121 с.
27. Ерофеева Е.А. Взаимосвязь физиолого-морфологических показателей листовой пластинки березы повислой с содержанием в ней тяжелых металлов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И Лобачевского. 2010. № 1. С. 140–143.
28. Еленевский, А.Г. Чаадаева Н.Н. Растения Белгородской области. Москва: МРГУ, 2004. 120 с.
29. Еремеева А. С., Донченко М. И., Бучельников В. С., и др. Обзор методов биоиндикации и биотестирования для оценки состояния окружающей среды // Молодой ученый. 2015. №11. С. 537–540.
30. Жукова А.А. Биоиндикация качества природной среды. Методическое пособие. Минск. М., 2014. 112 с.

31. Звягинцева О.Ю. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения г. Чита (Забайкальский край): Автореф. дисс ...канд. биол. наук. Улан-Удэ: Забайкальский государственный университет, 2014. 131 с.
32. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 30–31 с.
33. Козлов М.В. Стабильность развития: мнимая простота методики (о методическом руководстве «Здоровье среды: методика оценки» // Заповедники и национальные парки. 2002. № 37–38. С. 23–25.
34. Калыгин В. Г. Промышленная экология. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 432 с.
35. Кривошук Д. А. Тихомиров Ф.А., Фёдоров Е.А. Биоиндикация и экологическое нормирование // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. М.: «Наука», 1987. С. 18–26.
36. Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б. Методические вопросы выбора тест объектов биоиндикации с использованием алгоритма сравнения коэффициента вариации // Вестник Томского государственного университета. 2010. Т.11, №3. С.141–150.
37. Кондакова Л.В., Кондакова Л.В., Безденежных К.А., Домрачева Л.И. Биоиндикация почв пойменных лугов с использованием грибных и фототрофных микробных группировок // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет. 2017. С. 243 – 246.
38. Крупская Л.Т., Дербенцева А.М., Новороцкая А.Г., Яковенко Г.П. Мониторинг среды обитания. Учебное пособие. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета. М., 2007. 180 с.
39. Ляшенко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды. Учебное пособие. СПб.: Наука, 2012. 67 с.

40. Лисецкий Ф.Н. Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области. Учебно-справочное картографическое пособие // Правительство Белгородской области, Государственная экологическая инспекция Белгородской области, НИУ «БелГУ». Белгород: БелГУ, 2005. 179 с.
41. Леонтьева Е.В. Геоэкологическая модель оперативного регулирования качества добываемой подземной воды: дисс ... к.г.н. Белгород, 2014. 160 с.
42. Лисецкий Ф.Н. Использование геоинформационных технологий для экологического мониторинга городских территорий // Экологические системы и приборы. 2007. №8. С. 12–17.
43. Мелехова Е.И., Сарапульцева Т.И., Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Учебное пособие для студ. высш. учеб. Заведений. М.:Издательский центр «Академия». 2008. 288 с.
44. Менделеева Д.И. Биоиндикация и антропогенные стрессоры. М.: РХТУ им. 2006. 135 с.
45. Матвейшина М.Е. Развитие процесса субурбанизации на примере Белгородской агломерации // Вестник ИрГТУ. 2015. № 6 (101). С. 98-107.
46. Матерна Я. Воздействие атмосферного загрязнения на природные экосистемы // Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л: Гидрометеиздат, 1988. С. 436 – 459.
47. Обуховский Ю.М. Ландшафтная индикация. Учебное пособие. Минск. 2008. 299 с.
48. Опекунова М.Т. Биоиндикация загрязнений. Учебное пособие. СПб: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2016. 300 с
49. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ. Наука. 2005. 370 с.
50. Рассадина Е.В. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды // Вестник Ульяновской государственной

сельскохозяйственной академии. Актуальные вопросы ветеринарной медицины, биологии и экологии. 2007. №4. С.48–50.

51. Рассадина Е.В. Биодиагностика и индикация почв // Е.В. Рассадина, Е.Г. Климентова. Ульяновск: УлГУ, 2016. 186 с.

52. Сагадатов Г.С. Индикаторы пастбищной деградации растительного покрова средневозрастных степных залежей Оренбургского Зауралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2008. №87. С. 117–121.

53. Снегин Э.А. Практикум по биометрии. Учебное пособие. Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ». 2016. С.4.

54. Смирнова Н.Н. Биологические методы оценки природной среды. М.: издательство «Наука», 1978. 156 с.

55. Снакина В.В. Толковый словарь по охране природы. М.: Экология. 1995 191 с.

56. Тарасов В. В., Тихонова И. О., Кручинина Н. Е. Мониторинг атмосферного воздуха. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2000. 97 с.

57. Туровцев В.Д., Краснов В.С. Биоиндикация. Учебное пособие. Издат. Твер.гос.ун-т. М., 2005. 260 с.

58. Фатнева Е.А. Геоэкологическое зонирование и оценка экологической ситуации природно-техногенных систем Белгородской области // Инструменты современной научной деятельности. Самара: Аэтерна. С. 184–189.

59. Хрисанов В.А. Развитие и распространение экзогенных процессов на неотектонических структурах в условиях современных вертикальных движений на территории Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. 2017 а. № 38 (4). С. 149–160.

60. Хрисанов В.А. Масштабы трансформации структурно-литологической основы, исходного рельефа и активизации современных экзогенных процессов в результате антропогенной деятельности на территории Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. 2017 б. № 18 (267). С. 94–109.

61. Харченко С.В. Геоморфологический фактор формирования городов Черноземья: Автореф. дисс... к.г.н: Москва, 2014. 184 с.
62. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды. Методы биотестирования. Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. 92 с.
63. Чотуралиев И.А. Оценка качества окружающей среды города Бишкек по величине флуктуирующей асимметрии листьев *Populus belleana louche* // Наука, новые технологии и инновации. 2013. №1. С. 108–110.
64. Шестакова Г.А., Стрельцов Е.Л. Методика сбора и обработки материала для оценки стабильности развития берёзы повислой. Константинов. Калуга: КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2004. С. 187–195.
65. Шиббаева С.Н., Фурманова Т.Н., Петин А.Н. Геоэкологическое зонирование города Белгорода // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы V международной научной конференции (28-31 октября 2013). Москва. С. 347–350.
66. Шадманова Т.Х., Чуйков Ю.С. Экологические основы биоиндикационных исследований // Астраханский вестник экологического образования. 2012. №4, С. 157-164.
67. Шабалдас О.Г., Зеленская Т.Г., Поспелова О.Г. Экология: методы исследований. Учебно-методическое пособие. М., 2008. 136 с.
68. Якушина Э.И. Древесные растения и городская среда. Древесные растения, рекомендуемые для озеленения Москвы. М: Наука. 1990. 68 с.
69. Якунина И. В Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг. Тамбов. 2009. 188 с
70. Shaw B. P., Sahu S. K., Mishra R. K. Heavy Metal Induced Oxidative Damage in Terrestrial Plants // In: Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. Ed. by Prasad M. N. V. Berlin. 2004. 84-126 s.

ПРИЛОЖЕНИЯ